

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI FEDERICO II



FACOLTÀ DI INGEGNERIA

Dipartimento di Ingegneria dei Materiali e della Produzione

**DOTTORATO DI RICERCA IN
TECNOLOGIE E SISTEMI DI PRODUZIONE
INDIRIZZO GESTIONE DEL RISCHIO E DELLA SICUREZZA**

**FIRE SAFETY MANAGEMENT:
L'UTILIZZO DELLA SIMULAZIONE COME
STRUMENTO DI SUPPORTO ALLE DECISIONI
STRATEGICHE PER L'IMPLEMENTAZIONE DI PIANI
DI EVACUAZIONE DINAMICI**

Coordinatore

Ch.mo Prof. Ing. Luigi Carrino

Candidato

Ing. Daniela Rita Montella

Tutor

Ch.ma Prof.ssa Ing. Liberatina Carmela Santillo

XXV ° CICLO DI DOTTORATO

“Per aspera sic itur ad astra”

*... La strada per raggiungere
i propri obiettivi
è piena di difficoltà.*

[Seneca]

A mio figlio



RINGRAZIAMENTI

A conclusione di questo percorso di Dottorato, il mio primo e sentito ringraziamento va alla Prof.ssa Tina Santillo, professionista valida e stimolante sul lavoro e donna comprensiva ed amorevole nei rapporti personali che riesce ad interessare.

Ringrazio anche i miei amici e colleghi: Elpidio, Guido, Mosè, Pino, Teresa, Daniela M., Daniela C., Giuseppe, Roberto, Mario, Pasquale, elencati in ordine casuale; ringrazio di cuore tutti per l'aiuto e la disponibilità dimostratami; ho imparato davvero tanto da ciascuno di loro.

Come non poter ringraziare la mia famiglia, mi è sempre di supporto in qualsiasi momento della mia vita; tutto ciò che sono lo devo a mia madre e mio padre, esempio di integrità ed amore allo stato puro.

Infine, il mio più grande ringraziamento va a mio marito, Francesco, che ha sopportato con pazienza sovrumana i miei momenti "difficili", spronandomi ed aiutandomi senza mai stancarsi, e a mio figlio, Cristofaro, che a soli pochi mesi di vita mi ha insegnato che i traguardi raggiunti con fatica e sudore sono quelli maggiormente soddisfacenti...!!!







3.2.2	La classificazione degli incendi.....	162
3.2.3	I parametri della combustione.....	166
3.3	Combustibili e modalità di combustione.....	174
3.3.1	Combustibili solidi.....	175
3.3.2	Combustibili liquidi.....	178
3.3.3	Combustibili gassosi.....	180
3.4	Condizioni necessarie per l'innesco e auto sostentamento.....	184
3.5	Provvedimenti per condizionare l'evoluzione degli incendi.....	186
3.6	Esplosioni.....	187
3.6.1	Esplosione di miscele infiammabili di gas o vapori.....	189
3.6.2	Esplosione di polveri combustibili sospese in aria.....	190
3.7	Autocombustione.....	190
3.8	I prodotti della combustione.....	192
3.9	Dinamica di sviluppo di un incendio.....	194
3.9.1	Osservazioni sulla curva $T = f(t)$	199
3.10	Estinzione degli incendi.....	202
3.11	Le sostanze estinguenti.....	204
3.11.1	Acqua.....	204
3.11.2	Schiuma.....	206
3.11.3	Polveri chimiche.....	208
3.11.4	Gas inerti.....	209
3.11.5	Idrocarburi alogenati.....	211
3.11.6	Altri.....	213
3.12	Effetti dell'incendio sull'uomo.....	213
3.13	Effetti dell'incendio sui materiali.....	214
3.14	La normativa Antincendio.....	215
3.14.1	Norme sulle procedure.....	215
3.14.2	Norme e regole tecniche.....	216
3.15	Il Certificato di Prevenzione Incendi.....	217
3.16	Fire Safety Engineering.....	218
3.16.1	Introduzione.....	218
3.16.2	La valutazione degli effetti dell'incendio secondo l'approccio ingegneristico.....	219
3.16.3	Analisi preliminare (I fase).....	220
3.16.4	Analisi quantitativa (II fase).....	225
3.16.5	Programma di gestione della sicurezza antincendio (SGSA).....	227
3.16.6	Sviluppo progettuale e documentazione finale.....	228
3.16.7	La novità dell'approccio prestazionale.....	229
3.17	Valutazione e gestione del rischio incendio.....	230
3.17.1	La determinazione dei fattori di pericolo d'incendio.....	231
3.17.2	L'identificazione delle persone esposte al rischio di incendio....	232
3.17.3	La valutazione dell'entità dei rischi.....	233
3.17.4	La prevenzione e la protezione incendi.....	235
3.17.5	Le vie di esodo.....	246



3.17.6 Il Piano di Emergenza.....	248
3.17.7 Le esercitazioni di emergenza.....	251
3.17.8 Procedure di esodo.....	252
3.17.9 La formazione dei lavoratori.....	253
BIBLIOGRAFIA CAPITOLO III.....	255
SITOGRAFIA CAPITOLO III.....	256
CAPITOLO IV: IL COMPORTAMENTO UMANO DURANTE LE EMERGENZE.....	
Premessa.....	257
4.1 Cenni introduttivi sul comportamento umano.....	258
4.2 Il comportamento umano in caso di incendio.....	260
4.3 Le caratteristiche degli occupanti.....	263
4.4 Risposta agli indizi.....	267
4.5 Evacuazione di una folla di individui.....	268
4.6 Fattori che regolano l'efficacia dell'evacuazione.....	271
4.7 Comportamenti e reazioni umane nelle situazioni.....	273
4.8 La paura.....	275
4.9 L'angoscia.....	277
4.10 Il panico di massa.....	278
4.11 Le scienze del comportamento al servizio della sicurezza.....	282
4.11.1 La teoria dell'intrappolamento.....	283
4.11.2 Il modello dell'attaccamento sociale.....	283
4.12 Il modello di Leach.....	284
4.12.1 Le fasi del disastro.....	285
4.12.2 Il comportamento umano secondo Leach.....	287
4.13 Integrazione dei fattori umani nella progettazione della sicurezza antincendio.....	289
4.14 Il futuro accademico e professionale delle ricerche sul comportamento umano in caso di incendio.....	292
4.15 Una proposta per una futura strategia internazionale.....	293
4.16 L'errore umano.....	294
4.16.1 Introduzione.....	294
4.16.2 L'errore.....	295
4.16.3 L'affidabilità umana.....	298
BIBLIOGRAFIA CAPITOLO IV.....	303
SITOGRAFIA CAPITOLO IV.....	304
CAPITOLO V: AGENT BASED MODELING AND SIMULATION..	
Premessa.....	305
5.1 La simulazione.....	306
5.1.1 Benefici della simulazione.....	307
5.1.2 Critiche alle simulazioni.....	311
5.1.3 I problemi della simulazione.....	314



5.1.4	Modelli.....	316
5.1.5	Fasi della simulazione.....	318
5.1.6	Micro e Macro Simulazioni.....	319
5.2	L'ABMS.....	320
5.2.1	Gli agenti.....	322
5.2.2	I vantaggi dell'ABMS.....	342
5.2.3	Aree di Applicazione.....	347
5.2.4	Sviluppo di un ABMS.....	348
5.3	Modelli per la simulazione	354
5.3.1	Metodologie di modellazione.....	355
5.3.2	Wayfinding.....	366
5.3.3	Algoritmo di wayfinding.....	368
	BIBLIOGRAFIA CAPITOLO V.....	376
	SITOGRAFIA CAPITOLO V.....	378
	 CAPITOLO VI: LITERATURE REVIEW.....	 379
	Premessa.....	379
6.1	Introduzione	380
6.2	Classificazione delle fonti bibliografiche.....	385
6.3	Case Study della letteratura: simulazione del comportamento umano durante un incendio.....	395
	BIBLIOGRAFIA CAPITOLO VI.....	425
	SITOGRAFIA CAPITOLO VI.....	434
	 CAPITOLO VII: CASE STUDY: IMPLEMENTAZIONE DI UN MODELLO SIMULATIVO PER LA DETERMINAZIONE DI PIANI DI EVACUAZIONE DINAMICI.....	 435
	Premessa.....	435
7.1	Studio Preliminare.....	436
7.1.1	I materiali combustibili.....	436
7.1.2	Geometria dell'edificio.....	438
7.1.3	Verifica dei parametri di simulazione e del modello di fuoco campione.....	439
7.1.4	Fasi temporali dello sviluppo dell'incendio in relazione all'esodo	440
7.1.5	Andamento temporale della potenza rilasciata.....	442
7.1.6	Andamento della distribuzione spazio-temporale dei fumi.....	443
7.1.7	Concentrazione dei fumi e condizioni di visibilità.....	444
7.2	Processo produttivo e layout di produzione.....	447
7.3	Arena Simulation Software.....	450
7.3.1	L'ambiente Arena.....	451
7.3.2	Descrizione dei moduli.....	452
7.4	Ipotesi alla base dei modelli di simulazione.....	459
7.5	Prima configurazione di modello.....	462



7.5.1	Creazione delle Entità.....	464
7.5.2	La fase precedente all'innescio dell'incendio.....	465
7.5.3	Assegnazione dei fattori comportamentali.....	466
7.5.4	La scelta dei percorsi di Esodo.....	469
7.6	Seconda configurazione di modello.....	472
7.6.1	Identificazione dei comportamenti gregari.....	474
7.6.2	Indirizzamento verso l'uscita agibile più vicina.....	474
7.6.3	I Percorsi di esodo.....	475
7.6.4	Gli addetti alle emergenze e l'uscita dal sistema.....	476
7.7	Verifica e validazione del modello.....	477
7.8	Analisi di scenario.....	478
7.8.1	Scenario 1.....	480
7.8.2	Scenario 2.....	483
7.8.3	Scenario 3.....	486
7.8.4	Scenario 4.....	488
7.9	Analisi e confronto dei risultati.....	531
	BIBLIOGRAFIA CAPITOLO VII.....	535
	SITOGRAFIA CAPITOLO VII.....	536
	CONCLUSIONI.....	537



INDICE DELLE FIGURE

Figura 1. 1 - Componenti fondamentali per una corretta strategia di business.....	24
Figura 1. 2 - Fasi del Risk Management.....	29
Figura 1. 3 – Dettaglio delle fasi del Risk Management.....	30
Figura 1. 4 - Business Risk Model.....	45
Figura 1. 5 - Fonti del rischio strategico.....	46
Figura 1. 6 - Classificazione dei rischi.....	49
Figura 2. 1 - Esempio di una curva di rischio.....	87
Figura 2. 2 - Curve di rischio relative ad un generico “sistema”.....	88
Figura 2. 3 - Curva di rischio in scala bilogaritmica.....	88
Figura 2. 4 - Superficie di rischio nel caso di danni multidimensionali...	89
Figura 2. 5 - Curva di probabilità di frequenza.....	90
Figura 2. 6 - Curva di rischio in formato di frequenza.....	91
Figura 2. 7 - Curva di rischio in formato di probabilità di frequenza.....	92
Figura 2. 8 - Curve di rischio a confronto.....	99
Figura 2. 9 - Curve di rischio in formato di probabilità e frequenza.....	100
Figura 2. 10 - Esempio di mappa di rischio locale.....	106
Figura 2. 11 - Esempio di una curva F – N.....	108
Figura 2. 12 - Scenario S_0 visto come una traiettoria nello spazio del sistema.....	110
Figura 2. 13 - Scenario di rischio S_i inteso come deviazione da S_0	110
Figura 2. 14 - Albero degli scenari che emerge da un evento iniziatore..	111
Figura 2. 15 - Rami di diversi alberi possono convergere in uno stato finale comune.....	111
Figura 2. 16 - Albero degli scenari “entrante”.....	112



Figura 2. 17 - Alberi “entranti” ed “uscenti” a partire dallo stato medio..	113
Figura 2. 18 - Tipologia degli interventi per la riduzione dei rischi.....	114
Figura 2. 19 - La Cultura Organizzativa secondo Schein.....	130
Figura 2. 20 - Rappresentazione ciclo di Deming.....	137
Figura 2. 21 – Rappresentazione a spirale del ciclo di Deming.....	138
Figura 2. 22 - Sequenza logica per la eliminazione/riduzione dei rischi..	140
Figura 2. 23 - Approcci fondamentali SMS.....	141
Figura 2. 24 - Occorrenza ed eventi.....	144
Figura 2. 25 - Schema di valutazione delle severità di occorrenza.....	145
Figura 2. 23 - Matrice di rischio.....	150
Figura 3. 1 - Il triangolo del fuoco.....	159
Figura 3. 2 - I triangoli del fuoco.....	160
Figura 3. 3 - Il tetraedro del fuoco.....	161
Figura 3. 4 - Pittogramma dei fuochi.....	165
Figura 3. 5 - Pittogramma dei fuochi di classe F.....	166
Figura 3. 6 - Limiti di infiammabilità di alcune sostanze.....	170
Figura 3. 7 - Temperature di infiammabilità in °C.....	179
Figura 3. 8 - Campo di infiammabilità di miscele infiammabili.....	182
Figura 3. 9 – Scala cromatica delle temperature nella combustione dei gas.....	194
Figura 3. 10 - Diagramma temperatura tempo dell' incendio.....	195
Figura 3. 11 - Curva standard temperatura-tempo.....	201
Figura 3. 12 - Temperatura massima e durata combustione per quantità ideali di legna.....	202
Figura 3. 13 – Ustioni.....	214
Figura 3. 14 - Gestione del rischio incendio.....	231
Figura 3. 15 - Prevenzione incendi.....	236
Figura 3. 16 - Estintore, idrante, attacco di mandata.....	243
Figura 3. 17 - Centrale Antincendio.....	245



Figura 4. 1 - Processo di decisione e di movimento legati all'esodo.....	263
Figura 4. 2 - Comportamenti gregari.....	271
Figura 4. 3 - Fattori che regolano l'efficacia di una evacuazione.....	272
Figura 4. 4 - Sistema di mobilitazione delle risorse mentali.....	274
Figura 4. 5 - L'errore.....	296
Figura 4. 6 - La cultura dell'errore.....	298
Figura 4. 7 - Modello a gradini.....	300
Figura 5. 1 - Un Agente.....	322
Figura 5. 2 - Gli agenti interagiscono con l'ambiente per mezzo di sensori e attuatori.....	323
Figura 5. 3 - Un agente nel suo ambiente.....	325
Figura 5. 4 - Una tipologia di agenti.....	330
Figura 5. 5 - Una classificazione degli agenti.....	331
Figura 5. 6 - Schema generico di un sistema multi agente.....	340
Figura 5. 7 - Relazione tra attività dell'Agente e processi di business....	346
Figura 6. 1 - Principali metodologie per rappresentare l'evacuazione....	384
Figura 6. 2 - Layout del supermercato.....	396
Figura 6. 3 - Layout dell'edificio universitario.....	397
Figura 6. 4 - Risultati nel caso della variazione della preferenza per l'uscita più vicina.....	399
Figura 6. 5 - Confronto tra la scelta delle uscite per il supermercato....	400
Figura 6. 6 - Confronto tra le impostazioni di base con una minore preferenza per l'uscita più vicina (75%) e tempi di pre-evacuazione minori (180 - 65) per l'università.....	401
Figura 6. 7 - Simulazione degli occupanti che evacuano da una classe; i rettangoli neri rappresentano gli ostacoli, un cerchio pieno rappresenta un uomo veloce, un cerchio vuoto rappresenta un uomo lento.....	404
Figura 6. 8 - Simulazione degli occupanti che evacuano da una stanza con densità di occupazione asimmetrica.....	405



Figura 6. 9 – Costo totale di tempo con differenti percentuali di uomini lenti.....	406
Figura 6. 10 – Simulazione di occupanti che evacuano attraverso due differenti corridoi da sinistra a destra; b), d) hanno una parte allargata nel mezzo. a), b) la percentuale di uomini lenti è il 100%; c), d) la percentuale di uomini lenti è lo 0%.....	407
Figura 6. 11 – Efficienza degli occupanti che evacuano attraverso due tipi di corridoi con la percentuale di uomini lenti: a) 0%; b) 2%; c) 10%; d) 60%; e) 95%; f) 100%.....	408
Figura 6. 12 – Simulazione di occupanti che evacuano attraverso due differenti corridoi da sinistra a destra con la percentuale di uomini lenti pari al 20%. a) corridoio comune; b) corridoio con apertura.....	409
Figura 6. 13 – Curva cumulativa degli occupanti che passano attraverso le uscite sul piano 4.....	411
Figura 6. 14 – Uscita delle persone sul Piano 1.....	413
Figura 6. 15 – Il comportamento dello strisciare sotto lo strato di fumo.	414
Figura 6. 16 – Vista 3D della simulazione dell'evacuazione a causa dell'incendio dal piano 1 al piano 3.....	415
Figura 6. 17 – Planimetria del piano dell'hotel sottoposto al test.....	417
Figura 6. 18 – Scenari di validazione.....	418
Figura 6. 19 – Immagini di scenario.....	419
Figura 7. 1 - Area della simulazione.....	438
Figura 7. 2 - Simulazione del fuoco campione a geometria ridotta.....	439
Figura 7. 3 - Andamento temporale del processo di esodo.....	441
Figura 7. 4 - Andamento temporale della potenza rilasciata dall'incendio (blu) ed andamento parabolico teorico (giallo).....	442
Figura 7. 5 - Distribuzione dei fumi ad intervalli di 60 secondi (I).....	443
Figura 7. 6 - Distribuzione dei fumi ad intervalli di 60 secondi (II).....	444
Figura 7. 7 – Concentrazione del fumo all'istante di completa	



evacuazione.....	445
Figura 7. 8 – Ciclo di produzione.....	447
Figura 7. 9 – Planimetria.....	449
Figura 7. 10 – Ambiente di lavoro in Arena.....	451
Figura 7. 11 – Vista generale del primo modello in Arena.....	463
Figura 7. 12 – Moduli Create per le varie entità: a) Lavoratori addetti alle emergenze; b) Lavoratori; c) Lavoratori con handicap; d) visitatori..	464
Figura 7. 13 – Caratterizzazione dell’entità Incendio.....	465
Figura 7. 14 – Moduli Hold ed Assign relativi alle zone di provenienza.	466
Figura 7. 15 – Assegnazione dei fattori comportamentali.....	467
Figura 7. 16 – Attesa e Rilascio delle entità in base al comportamento...	468
Figura 7. 17 – Scelta del percorso di fuga.....	469
Figura 7. 18 – I Percorsi di Esodo e le Porte di Emergenza.....	471
Figura 7. 19 – Moduli Record e Decide per gli Addetti alle Emergenze e l’uscita delle entità.....	471
Figura 7. 20 – Vista generale del secondo modello in Arena.....	473
Figura 7. 21 – Tempo di pre-evacuazione nei comportamenti gregari....	474
Figura 7. 22 – Indirizzamento verso i percorsi agibili.....	475
Figura 7. 23 – I percorsi di esodo.....	476
Figura 7. 24 – Addetti alle emergenze ed uscita dal sistema.....	477
Figura 7. 25 – Numero di Vittime per lo Scenario 1.....	481
Figura 7. 26 – Numero di Sopravvissuti per lo Scenario 1.....	482
Figura 7. 27 – Percentuale di Vittime per lo Scenario 1.....	482
Figura 7. 28 – Percentuale di Sopravvissuti per lo Scenario 1.....	483
Figura 7. 29 – Numero di Vittime per lo Scenario 2.....	484
Figura 7. 30 – Numero di Sopravvissuti per lo Scenario 2.....	484
Figura 7. 31 – Percentuale di Vittime per lo Scenario 2.....	485
Figura 7. 32 – Percentuale di Sopravvissuti per lo Scenario 2.....	485
Figura 7. 33 – Numero di Vittime per lo Scenario 3.....	486



Figura 7. 34 – Numero di Sopravvissuti per lo Scenario 3.....	487
Figura 7. 35 – Percentuale di Vittime per lo Scenario 3.....	487
Figura 7. 36 – Percentuale di Sopravvissuti per lo Scenario 3.....	488
Figura 7. 37 – Numero di Vittime per lo Scenario 4.....	489
Figura 7. 38 – Numero di Sopravvissuti per lo Scenario 4.....	489
Figura 7. 39 – Percentuale di Vittime per lo Scenario 4.....	490
Figura 7. 40 – Percentuale di Sopravvissuti per lo Scenario 4.....	490
Figura 7. 41 – Risultati dei run di simulazione per lo Scenario 1 (I).....	491
Figura 7. 42 – Risultati dei run di simulazione per lo Scenario 1 (II).....	492
Figura 7. 43 – Risultati dei run di simulazione per lo Scenario 1 (III)....	493
Figura 7. 44 – Risultati dei run di simulazione per lo Scenario 1 (IV)....	494
Figura 7. 45 – Risultati dei run di simulazione per lo Scenario 1 (V).....	495
Figura 7. 46 – Risultati dei run di simulazione per lo Scenario 1 (VI)....	496
Figura 7. 47 – Risultati dei run di simulazione per lo Scenario 1 (VII)...	497
Figura 7. 48 – Risultati dei run di simulazione per lo Scenario 1 (VIII)..	498
Figura 7. 49 – Risultati dei run di simulazione per lo Scenario 1 (IX)...	499
Figura 7. 50 – Risultati dei run di simulazione per lo Scenario 1 (X)....	500
Figura 7. 51 – Risultati dei run di simulazione per lo Scenario 2 (I).....	501
Figura 7. 52 – Risultati dei run di simulazione per lo Scenario 2 (II)....	502
Figura 7. 53 – Risultati dei run di simulazione per lo Scenario 2 (III)....	503
Figura 7. 54 – Risultati dei run di simulazione per lo Scenario 2 (IV)....	504
Figura 7. 55 – Risultati dei run di simulazione per lo Scenario 2 (V)....	505
Figura 7. 56 – Risultati dei run di simulazione per lo Scenario 2 (VI)....	506
Figura 7. 57 – Risultati dei run di simulazione per lo Scenario 2 (VII)...	507
Figura 7. 58 – Risultati dei run di simulazione per lo Scenario 2 (VIII)..	508
Figura 7. 59 – Risultati dei run di simulazione per lo Scenario 2 (IX)....	509
Figura 7.60 – Risultati dei run di simulazione per lo Scenario 2 (X).....	510
Figura 7. 61 – Risultati dei run di simulazione per lo Scenario 3 (I).....	511
Figura 7. 62 – Risultati dei run di simulazione per lo Scenario 3 (II)....	512



Figura 7. 63 – Risultati dei run di simulazione per lo Scenario 3 (III)....	513
Figura 7. 64 – Risultati dei run di simulazione per lo Scenario 3 (IV)....	514
Figura 7. 65 – Risultati dei run di simulazione per lo Scenario 3 (V).....	515
Figura 7. 66 – Risultati dei run di simulazione per lo Scenario 3 (VI)....	516
Figura 7. 67 – Risultati dei run di simulazione per lo Scenario 3 (VII)...	517
Figura 7. 68 – Risultati dei run di simulazione per lo Scenario 3 (VIII)..	518
Figura 7. 69 – Risultati dei run di simulazione per lo Scenario 3 (IX)....	519
Figura 7. 70 – Risultati dei run di simulazione per lo Scenario 3 (X).....	520
Figura 7. 71 – Risultati dei run di simulazione per lo Scenario 4 (I).....	521
Figura 7. 72 – Risultati dei run di simulazione per lo Scenario 4 (II).....	522
Figura 7. 73 – Risultati dei run di simulazione per lo Scenario 4 (III)...	523
Figura 7. 74 – Risultati dei run di simulazione per lo Scenario 4 (IV)...	524
Figura 7. 75 – Risultati dei run di simulazione per lo Scenario 4 (V).....	525
Figura 7. 76 – Risultati dei run di simulazione per lo Scenario 4 (VI)....	526
Figura 7. 77 – Risultati dei run di simulazione per lo Scenario 4 (VII)...	527
Figura 7. 78 – Risultati dei run di simulazione per lo Scenario 4 (VIII)..	528
Figura 7. 79 – Risultati dei run di simulazione per lo Scenario 4 (IX)....	529
Figura 7. 80 – Risultati dei run di simulazione per lo Scenario 4 (X)....	530
Figura 7. 81 – Confronto Numero di Vittime.....	531
Figura 7. 82 – Confronto numero di Sopravvissuti.....	532
Figura 7. 83 – Confronto Percentuali Vittime.....	532
Figura 7. 84 – Confronto percentuali Sopravvissuti.....	533



INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1. 1 – Tecniche di valutazione.....	61
Tabella 1. 2 – Tabella di conversione valutazioni qualitative – giudizi quantitativi.....	67
Tabella 2. 1 – Elenco degli scenari.....	85
Tabella 2. 2 – Elenco degli scenari con Probabilità Cumulativa.....	86
Tabella 2. 3 – Rischi di morte dovuti a differenti cause.....	98
Tabella 2. 4 – Categorie di rischio.....	118
Tabella 3. 1 - Temperatura di accensione di alcune sostanze.....	168
Tabella 3. 2 - Temperatura di combustione.....	168
Tabella 3. 3 - Temperature di infiammabilità di alcune sostanze.....	169
Tabella 3. 4 - Limiti di infiammabilità.....	171
Tabella 3. 5 - Aria teorica di combustione.....	173
Tabella 3. 6 - Poteri calorifici dei principali combustibili.....	173
Tabella 3. 7 - Classificazione dei combustibili.....	174
Tabella 3. 8 – Valori di soglia raccomandati per visibilità, concentrazione dei prodotti di combustione e temperatura.....	222
Tabella 4. 1 – Analisi del comportamento umano.....	262
Tabella 4. 2 – Schematizzazione della risposta umana in relazione alle caratteristiche più significative delle persone coinvolte in una situazione di emergenza.....	266
Tabella 4. 3 – Le fasi di Leach.....	285
Tabella 4. 4 – Fasi del disastro secondo Leach.....	287
Tabella 6. 1 – Principali caratteristiche delle fonti bibliografiche.....	387
Tabella 7. 1 – Concentrazione del fumo.....	445
Tabella 7. 2 – Condizioni di visibilità.....	446
Tabella 7. 3 – Numero di Occupants nei run di simulazione.....	480



INTRODUZIONE

Il presente lavoro di tesi ha come obiettivo quello di utilizzare l'approccio simulativo al fine di creare un valido strumento di supporto alle decisioni in ambito di progettazione e formazione sulla Sicurezza Antincendio.

Tale studio nasce dalla consapevolezza che l'introduzione del Testo Unico sulla Sicurezza ha cambiato il modo di "fare" sicurezza all'interno degli ambienti lavorativi. La sicurezza non è più intesa come semplice adempimento legislativo da rispettare per non incorrere in sanzioni economiche e penali ma come un profondo valore sociale a cui deve tendere tutta la comunità. Si parla in questo caso di "Cultura della Sicurezza", intesa come quell'insieme di credenze, norme, atteggiamenti e pratiche, sia sociali che tecniche, indirizzate a minimizzare l'esposizione a condizioni considerate come pericolose. Per attuare questo "cambiamento" è necessario però che tutte le figure lavorative (dal datore di lavoro fino ai dipendenti) siano coinvolte e formate in materia di sicurezza. Da qui l'importanza della formazione/informazione, su cui il D.Lgs. 81/08 pone particolare enfasi.

Con specifico riferimento alla formazione relativa al rischio incendio, gli studiosi hanno evidenziato la necessità di organizzare soluzioni di sicurezza antincendio idonee al sistema preso in considerazione, invece di applicare semplicemente la tradizionale regolamentazione prescritta e le misure di sicurezza antincendio derivanti. Questo ha reso necessario garantire che l'analisi comprenda, nella sua trattazione dei possibili scenari d'incendio, le caratteristiche e le probabili reazioni degli occupanti gli edifici. Le differenti capacità psicomotorie degli occupanti, le diverse reazioni psicologiche, in caso di evacuazione d'emergenza, unitamente ad una maggiore o minore



conoscenza dell'edificio in cui si trovano, condiziona il fenomeno dell'evacuazione, rendendo necessaria l'attivazione di studi dedicati di pianificazione dell'esodo, che devono analizzare caso per caso, a seconda della struttura e dei suoi occupanti, quali siano le misure più idonee di prevenzione da adottare.

La progettazione dell'emergenza, basata sull'adozione di misure di protezione attiva e passiva coerenti, non può essere quindi in contrasto con le naturali tendenze dell'uomo. È imprescindibile allora tener conto delle diverse tipologie di persone presenti (di diverso sesso, età, condizione fisica e psicologica, cultura) e della loro diversa esposizione al rischio. In funzione di questo variano, infatti, sia le possibilità di formazione – informazione preventiva, sia le condizioni generali da introdurre come dati di input del piano preventivo.

In tale ottica il suddetto lavoro di tesi considera l'importanza dell'inserimento dei fattori umani nella progettazione della sicurezza antincendio, utilizzando la simulazione a integrazione e supporto ai tradizionali strumenti di studio delle emergenze per ottenere dei piani di evacuazione e gestione delle emergenze “dinamici”, dove “dinamico” sottolinea per l'appunto l'intento di riprodurre una realtà virtuale in cui osservare l'effettivo svolgimento di una evacuazione, rispetto al semplice piano determinato a priori sulla base di studi meramente fisici e strutturali.

Seguendo un approccio del tipo top – down, si è partiti nel presente lavoro dallo studio generico della Gestione del Rischio e sua Valutazione, per poi soffermarsi sulla Gestione dei rischi relativi alla Sicurezza e, entrando ancora più nello specifico, sulle principali modalità di gestione delle emergenze relative al rischio incendio in base alle linee guida dei nuovi riferimenti normativi.



Il passo successivo è stato quello di approfondire le tematiche riguardanti il comportamento umano in caso di emergenza, riportando i principali studi in materia: tramite un approfondito studio bibliografico delle maggiori riviste del settore (Fire Safety Journal, Procedia Engineering, Building and Environment, etc.) inerente le teorie comportamentali durante le emergenze ed i modelli utilizzati per simularle, si è sottolineato quanto sia fondamentale prendere in considerazione il fattore “umano” nella fase di pianificazione di qualsiasi misura di prevenzione e protezione. Le azioni errate dell'uomo possono infatti rendere inutili tutte le misure attuate per diminuire la possibilità di incidenti.

Tale studio si è infine concluso con l'implementazione di un modello simulativo che riproducesse il comportamento umano in caso di evacuazione per lo scoppio di un incendio da un'azienda dolciaria, utilizzando il software Arena della Rockwell. Per esso sono state previste due differenti configurazioni di sistema: una comprendente comportamenti di non cooperazione e comunicazione tra gli Occupants e l'assenza di sistemi vocali/sonori che indicassero l'eventuale presenza di percorsi resi inagibili dall'incendio, ed un'altra comprendente comportamenti di collaborazione e comunicazione e la presenza di un sistema di ausilio alle persone con indicazioni vocali e segnali luminosi a soffitto con i quali guidare gli individui verso percorsi di esodo agibili.

I risultati delle simulazioni e dell'analisi di scenario spingono a diverse importanti considerazioni da parte dei manager, tra cui la determinazione di gruppi più vulnerabili di persone o del percorso più frequentato, i potenziali benefici di alcune strategie di evacuazione rispetto ad altre, etc.

In definitiva, il lavoro di tesi considerato ha voluto proporre un approccio gestionale che, tramite l'utilizzo della simulazione, sia di supporto alla pianificazione tattica e strategica di un'impresa in materia di sicurezza e



possa essere utilizzato come strumento formativo sulle corrette modalità di evacuazione in caso di incendio.

Lo sviluppo futuro di tale progetto consisterà nell'estendere le considerazioni fino a qui condotte per creare un vero e proprio “game”, ossia un luogo virtuale in cui testare e quindi formare le persone in materia di evacuazione, con lo scopo di ridurre la mortalità per tali situazioni.



CAPITOLO I

RISK MANAGEMENT & RISK ASSESSMENT

Premessa

Gli sforzi per fornire sicurezza sul lavoro nei luoghi di lavoro non sono importanti solo per la sicurezza dei lavoratori ma anche per le attività sia economiche che finanziarie dell'azienda, per la qualità e la continuità della produzione.

Per tale motivo risulta di fondamentale importanza fornire dei cenni preliminari sul rischio, inteso nella sua accezione generale, al fine di poter poi soffermarsi sui rischi per i lavoratori.

In tale ottica nel presente capitolo, seguendo l'approccio di tipo top – down accennato nell'introduzione, verrà trattato in linea generale il concetto di gestione del rischio (Risk Management), ossia il processo mediante il quale si sviluppano delle strategie per governare il rischio, dopo averlo stimato e misurato (Risk Assessment).



1.1 Introduzione

I concetti di rischio, incertezza, imprevedibilità fanno irrimediabilmente parte dell'esperienza umana a tal punto da influenzare le scelte e le azioni di ciascun individuo. La limitata razionalità umana pone al centro della nostra vita il concetto di rischio, in quanto capace di mostrare all'uomo il suo limite invalicabile: la *conoscenza del futuro*, abbattendo la fiducia delle sue capacità valutative e decisionali. Oggi l'uomo si confronta col rischio, oltre che con avversione, anche con atteggiamento di sfida, dando il via ad una continua ricerca di equilibrio tra razionalizzazione degli eventi e utilizzo dell'intuito.

È impossibile trovare attività naturali o comportamento umano che non siano caratterizzati dalla presenza, contemporanea o meno, dell'incertezza e del rischio. Solamente le scienze pure, come la matematica e la logica, non si confrontano con la dimensione empirica e sono governate dalle ferree regole del puro determinismo e della logica deduttiva.

In particolare, nelle realtà industriali l'importanza del concetto di rischio è cresciuta a dismisura negli ultimi decenni a causa della rapidità di cambiamento dei contesti operativi in cui operano molte aziende. Questo processo di evoluzione ha portato verso impostazioni teoriche in cui la caratterizzazione principale è il concetto di *dinamicità*: l'equilibrio non è più ottenuto né interpretato in modo statico ma, al contrario, attraverso una logica di evoluzione del sistema complessivo [9].

All'inizio del secondo millennio, le forze che influenzano le organizzazioni appaiono sensibilmente mutate rispetto a quelle delle generazioni precedenti. Nuove tecnologie hanno accresciuto la capacità produttiva, i mercati si sono globalizzati, il ritmo della concorrenza ha subito un'accelerazione, il lavoro è divenuto più complesso e le competenze dei lavoratori sono migliorate. Eppure, nonostante tutti questi cambiamenti, i manager devono prendere le stesse fondamentali decisioni che affrontavano alla fine del secolo scorso. I manager devono ancora, come sempre, progettare le organizzazioni che



dirigono con l'obiettivo di renderle competitive: un compito che impegna la creatività. Le decisioni che riguardano i sistemi organizzativi hanno conseguenze profonde e durature. Per essere pienamente efficiente un manager deve capire a fondo le conseguenze che le sue scelte progettuali hanno per le unità che dirige [45].

In un contesto caratterizzato da elevata complessità e mutabilità, oggi più che mai le imprese necessitano di strutture integrate di analisi, misurazione e valutazione del rischio, dal momento che una gestione strategica del rischio si dimostra in grado di contenere le vulnerabilità e fragilità aziendali.

Dunque, nel sistema di governo delle imprese, uno degli obiettivi dell'Alta Direzione e del Consiglio di Amministrazione è quello di rendere efficiente ed efficace il processo di analisi, valutazione e controllo dei rischi.

In tal senso, un segno importante di innovazione manageriale relativo alle problematiche della gestione degli eventi avversi di origine dolosa e accidentale, i quali possono procurare un aumento dei costi, decrementi del fatturato o, più in generale, un peggioramento della qualità, è l'attuazione di una gestione improntata sul **Risk Management**, dove, nella sua più moderna accezione, il *Risk Management* è rivolto al controllo economico dell'esposizione dell'azienda a qualsiasi tipo di rischio.

Creare una cultura di *Risk Management* diffusa significa acquisire una maggiore consapevolezza di tutti i fattori di rischio che possono compromettere il raggiungimento degli obiettivi di business e porre l'accento sullo sviluppo di adeguati controlli, tecniche di gestione e comportamenti organizzativi volti a mitigarne l'esposizione.

Un aforisma di *André Gide* dichiara che “Senza rischi non si fa nulla di grande”. Questo per spiegare che nessun investimento è senza incertezza e quindi comprendere e padroneggiare il rischio è una delle chiavi per gestire gli investimenti e i loro ritorni. Le opportunità di guadagno espongono sempre a qualche rischio, ma saranno più facili da ottenere se il manager conosce il rischio che affronta e sa gestirlo; se si conoscono in precedenza i



rischi che si possono incontrare è più facile prevenirli o affrontarli nel momento in cui si presenteranno.

Il management utilizza spesso indicatori di performance per determinare la misura in cui un obiettivo è stato o sarà conseguito e normalmente utilizza le stesse unità di misura quando deve determinare l'impatto potenziale di un rischio sul conseguimento di un obiettivo specifico; tale impatto è meglio determinato se si adottano le stesse unità di misura degli obiettivi a cui si riferisce.

La stima delle probabilità e dell'impatto del rischio è spesso determinata utilizzando dati relativi a eventi già accaduti (storici), che costituiscono una base più obiettiva e reale rispetto a stime totalmente soggettive. I dati di provenienza interna, basati sulle esperienze maturate dall'azienda, possono risultare meno inficiati da valutazioni soggettive e forniscono, generalmente, risultati migliori rispetto ai dati di provenienza esterna (dati ISTAT, benchmark, etc.). Anche nei casi in cui i dati di provenienza interna costituiscono la fonte primaria dell'informazione, i dati esterni possono comunque risultare vantaggiosi se utilizzati per convalidare i primi e per migliorare così le analisi. Si deve prestare particolare attenzione quando si utilizzano eventi passati per prevedere gli accadimenti futuri, dato che i fattori che influenzano gli eventi possono variare nel tempo.

1.2 Incertezza e Rischio

1.2.1 Premessa

Knight, lo studioso che per primo si è concentrato sul rischio come autonomo oggetto di studio, afferma che *“quello in cui viviamo è un mondo di mutamenti ed un mondo di incertezza. Noi viviamo solo perché conosciamo*



qualche cosa del futuro; mentre i problemi della vita o almeno della condotta derivano dal fatto che noi ne conosciamo troppo poco.

Questo è altrettanto vero negli affari come nelle altre sfere di attività. L'essenza della situazione sta nell'azione derivante dall'opinione, più o meno fondata e valida, che non vi è né ignoranza assoluta, né completa e perfetta informazione, ma conoscenza parziale” [32].

Nelle parole del *Dezzani* l'ineliminabile proiezione aziendale nel futuro implica che il rischio venga assunto come ineliminabile condizione di esistenza di qualsiasi impresa. Il rischio quindi è una realtà imprescindibile per l'impresa. Si è certi che dove è presente un'attività imprenditoriale è presente anche il rischio, ma in contrapposizione a tale certezza vi è un'ampia incertezza che circonda la sua precisa identificazione dovuta al mutare continuo delle circostanze d'impresa e di mercato. La genesi dei fenomeni incerti e rischiosi viene normalmente individuata nella formulazione delle decisioni, nell'assunzione, cioè, di una posizione da parte dell'impresa di fronte al possibile evolversi degli eventi futuri.

Knight, già negli anni '20, sottolinea l'importanza di guardare alle implicazioni e alla natura dell'incertezza. Egli sottolinea come non sia tanto il cambiamento in sé – per quanto radicale – ad essere compatibile con la presenza di profitti, finché questo è in una qualche forma atteso, quanto l'*incertezza*. Incertezza che definisce la possibilità di aspettative scorrette circa i valori probabili che, conseguentemente, non possono essere messi in relazione a risultati futuri. Di estremo interesse è la distinzione fra *rischio* (possibilità obiettiva di tradurlo in fattore di costo e quindi assicurabile) e *incertezza* (fattori non assicurabili e non consolidabili), che lo conduce ad affermare che “*se tutto ciò che fosse incerto fosse anche rischioso (e misurabile) saremmo in una situazione nella quale l'avversione al rischio annullerebbe qualsiasi opportunità di profitto*”.

Rischio e incertezza assumono connotati diversi nel momento in cui il futuro è noto solo in parte, condizione nella quale gli agenti non sono in grado di



realizzare giudizi di probabilità circa fatti che solo “*verosimilmente*” potranno accadere. Questi fatti andranno invece *scoperti* e non solo stimati (si riterranno “verificati” ogniqualvolta consentiranno di ridurre il grado di ignoranza soggettiva dell’agente); per cui l’imprenditore è una persona che è *alert* nei confronti delle opportunità presenti non colte da altri ed è in grado di sfruttare il possesso di conoscenze – anche solo implicitamente – non possedute da altri.

Alcuni rischi possono risultare non controllabili dal management, la maggior parte, a differenza, si rivela gestibile e magari sfruttabile per conquistare benefici più elevati. Inoltre, facendo propria una definizione più ottimista, alcuni rischi possono essere d’aiuto, dato che non è scontato che l’incertezza si riveli sempre in modo negativo [36].

Incertezza e rischio possono essere considerati come aspetti distinti di una stessa realtà: “i due fenomeni, del resto, sono inscindibili: si ha infatti, l’incertezza in quanto ogni manifestazione fenomenica è portatrice di rischi” [8].

Il lavoro di *Knight* (1921) si presenta come uno dei primi contributi organici dedicati al rischio e all’incertezza e contiene anche un’analisi delle metodologie adottabili al fine di percepire e misurare, anche solo da un punto di vista logico, rischio e incertezza.

La maggior parte degli studiosi è concorde nel considerare le limitate capacità intellettive e conoscitive dell’uomo alla base sia del rischio che dell’incertezza.

1.2.2 L’Incertezza

Quando entra in gioco il caso, possiamo fuggire, ma non possiamo nasconderci. Moltissimi aspetti della nostra vita sono determinati da eventi



che non controlliamo completamente, e l'incertezza è ineliminabile. “Il principale aspetto dell'incertezza degli eventi d'azienda nel tempo è riconducibile al fatto che esistono nel tempo - durata e che tale tempo è anche passato o futuro e non solo presente. L'incertezza degli eventi è dunque ineliminabile nella concezione dinamica dell'economia dell'impresa” [12].

Le riflessioni realizzate sul tempo e sul processo decisionale consentono di individuare nella dinamica aziendale come cause generatrici dell'incertezza, due fattori importanti:

- ✓ la variabilità delle azioni future;
- ✓ il carattere di limitatezza della conoscenza umana [8].

L'agire in condizioni di incertezza è caratterizzato dal fatto che, nel momento in cui viene presa una decisione, colui che è chiamato a decidere non sa quale sarà la conseguenza della sua azione: quest'ultima dipenderà dal verificarsi di numerose circostanze, le quali concorrono nel determinare il risultato dell'azione stessa. Definire gli stati di natura per un problema di decisione equivale quindi a descrivere tutte quelle circostanze dalle quali dipende il risultato della decisione: la descrizione deve essere tale che, immaginando che un singolo stato di natura si verifichi, le conseguenze della decisione siano determinabili in modo univoco.

1.2.3 Il Rischio

Nello studio del concetto di rischio, uno dei primi ostacoli che si incontra è la presenza in letteratura di un'abbondanza di significati e definizioni. Vi sono delle ambiguità nascoste nelle nozioni di *rischio* e di *incertezza*. Questi due termini sono spesso utilizzati in maniera intercambiabile, ma, negli studi ingegneristici hanno significati sostanzialmente diversi.



In questa impostazione il rischio è esposto in stretta connessione con l'incertezza dalla quale deriva; infatti è l'esistenza dell'incertezza che rende un evento futuro non perfettamente prevedibile e le conseguenze favorevoli o sfavorevoli. Di conseguenza, l'esistenza di una conoscenza perfetta degli stati di natura, delle leggi causali che legano gli eventi annullerebbero sia l'aleatorietà sia il rischio, in quanto ogni fatto diventerebbe completamente prevedibile.

Secondo *Gobbi* è nelle differenze tra evento sfavorevole e evento favorevole che si caratterizzano i concetti di rischio e di incertezza: gli effetti che producono gli eventi favorevoli o indipendenti sono individuati dal termine *alea*; il rischio, viceversa, viene messo in stretta relazione con l'accadimento di eventi futuri apportatori di conseguenze sfavorevoli.

D'altra parte è sempre il soggetto che valuta gli effetti generati da un fatto e quindi la differenza tra rischio e incertezza viene ad essere fondata su una dimensione puramente soggettiva. Molte impostazioni basano la definizione del rischio sulla caratteristica della dualità: tra queste sono da menzionare la scuola austriaca con *Oberpaileiter* (1955) e quella italiana con *Sassi* (1940).

L'origine della parola rischio è attribuibile sia alla parola araba *risq* che alla parola latina *risicum*. In arabo significava “qualcosa che ti è stato dato da Dio e dal quale tu trai profitto” ed ha una connotazione di evento fortuito e favorevole. Il latino *risicum* originariamente si riferiva al risultato che produce l'impatto di una barca sullo scoglio, aveva quindi una connotazione di un evento fortuito ma sfavorevole.

In tempi più recenti si è inteso il rischio come la combinazione delle probabilità di un evento su un orizzonte di tempo prestabilito dovuto al variare di elementi critici¹. In tutti i tipi di imprese, vi sono eventi e conseguenze che costituiscono opportunità positive (upside) o minacce al successo (downside). Il rischio quindi non deve essere visto come un qualcosa di prettamente negativo, ma deve essere visto anche come

¹ Il concetto di Rischio verrà ripreso e formalizzato nel Capitolo II.



un'opportunità. Quando si parla di rischio vi sono altri due termini assai importanti, l'esposizione e l'incertezza. Con il termine *esposizione* si intende la suscettibilità ad una perdita o la percezione di una minaccia al patrimonio di un'azienda o ad un'attività produttiva. L'esposizione può essere sia positiva che negativa. Se non c'è esposizione non c'è rischio.

L'*incertezza* sorge quando non conosciamo in anticipo il peso e la direzione del cambiamento a cui la nostra fonte di valore (ad esempio l'innovazione tecnologica) è esposta. Così intesa essa è estremamente correlata alla probabilità di accadimento di un evento. Un'ultima parola da considerare è *conseguenza*, forse lo si dà per scontato ma molti di noi quando pensano al rischio ragionano in termini di conseguenze piuttosto che di pura probabilità. Le conseguenze quindi sono i risultati tangibili del rischio sulle decisioni, eventi e processi. Non possiamo vedere il rischio intangibile, ma possiamo anticipare ed osservare le conseguenze del rischio.

Il rischio è lo spazio non solo dei possibili eventi sfavorevoli, ma anche il campo in cui l'impresa può mostrare il proprio valore attraverso le competenze, la creatività, la conoscenza e l'efficienza. È il territorio cioè dove l'azienda deve costruire il proprio successo. La lettura del rischio non può più essere confinata alla sola dimensione negativa, ma deve ampliarsi alla comprensione delle opportunità che tale prospettiva dischiude. L'impresa deve introdurre la comprensione e la valutazione dei rischi all'interno delle proprie strategie, integrando le teorie dei rischi con quella del valore aziendale. Il rischio condiziona la vita umana in tutto il suo svolgersi. *Berstein* (2002) [6] si spinge ad indicare nella definizione del concetto di rischio la linea stessa di demarcazione fra i tempi moderni e il passato: il rischio è *“la nozione che il futuro è più di un capriccio degli dei e che gli uomini e le donne non sono passivi di fronte alla natura”*.

Keynes distingue quattro situazioni a seconda della natura del rischio. Egli parla di rischio calcolabile o non calcolabile; non viene da lui usato il termine incertezza. Egli distingue tra:



1. situazioni in cui il rischio è incalcolabile;
2. situazioni in cui il rischio è più o meno calcolabile. Questo caso è ulteriormente distinto in due sottocasi:
 - a) Il rischio non è normalmente distribuito (*not averaged*).
L'esempio è quello della roulette di Montecarlo;
 - b) Il rischio è invece normalmente distribuito (*average*). L'esempio è l'assicurazione sulla vita o sugli incendi;
3. la speculazione. Viene definito da Keynes come quella situazione in cui la conoscenza o il giudizio dello speculatore è superiore alla conoscenza o al giudizio del mercato.

L'insieme di operazioni riguardanti la vita aziendale è sottoposto continuamente all'azione dell'incertezza, che domina l'ambiente in cui l'impresa agisce. Le azioni intraprese, a loro volta, generano incertezza e rischio per l'azienda stessa e per le altre ad essa correlate. Il carattere economico del rischio deriva quindi dalla natura stessa dell'azienda (i fenomeni che si incontrano danno vita alle relazioni e ai legami che costituiscono la base della coordinazione aziendale).

Raramente vengono a generarsi situazioni chiaramente positive o negative, il più delle volte si trovano delle situazioni intermedie, che per fattori esterni o per azioni interne possono rapidamente trasformarsi in un vantaggio o in un “disastro”.

Il rischio, al pari dei fenomeni dai quali scaturisce, è soggetto a mutamenti nel tempo e nello spazio, pertanto, il rischio è un “fenomeno duraturo: ha un principio e una fine” [8]. La durata del rischio è dipendente dalle funzioni aziendali da cui scaturisce: da pochi istanti alla vita intera dell'azienda. Nella vita di un'azienda, tutti i momenti possono essere validi per il sorgere di rischi e possono riguardare tutti gli aspetti – primari e secondari, tecnici e finanziari – dell'attività dell'impresa.

La ragione oggettiva del rischio, infatti, va ricercata nei fenomeni che possono manifestarsi in seno all'azienda nel corso della sua vita. Tali



fenomeni possono originare due distinti tipi di rischio: il primo, che si può definire *rischio diretto* è connesso alla natura delle funzioni aziendali assunte o sorge nel momento stesso in cui vengono formulate le relative ipotesi; il secondo tipo, che si può definire *rischio indiretto*, dipende invece dal modo in cui tali funzioni vengono, in concreto, realizzate e dalle trasformazioni che esse determinano in seno alla combinazione produttiva [8].

Il concetto di rischio, inoltre, non si presenta come una entità astratta e difficilmente percepibile, ma, come suggerisce lo stesso Bertini, può essere *misurato* e, in un certo senso, *gestito* già in sede di formulazione di ipotesi quando si verifica una situazione di incertezza. A tal proposito, Bertini sostiene che “l’eventualità che, non verificandosi una determinata ipotesi, si abbiano conseguenze sfavorevoli per il soggetto che l’ha formulata, può essere intesa come sinonimo di *rischio*, nella più ampia accezione del termine. In pratica si ha il rischio ogniqualvolta, di un certo evento, può essere razionalmente formulata un’ipotesi di danno” [8].

Sebbene l’idea di rischio faccia riferimento espressamente alla possibilità di uno scarto tra ipotesi e realtà, il concetto di rischio non può essere inteso semplicemente come uno *scostamento* per due ragioni in particolare. La prima ragione è che lo scostamento indica una quantità nota a cui si perviene quando si è manifestato il fenomeno dal quale risulta la prospettiva di danno; il rischio, invece, è per definizione ignoto e non può essere determinato a priori. Bertini osserva che il termine rischio esprime l’*eventualità* di un effetto contrario ad un andamento ipotizzato, mentre il *danno* è la certezza di quell’effetto. L’autore indica il rischio come *danno potenziale o pericolo*. La seconda ragione è che sebbene il danno talvolta sia conseguenza del rischio, non è detto che debba essere necessariamente presente. Pertanto il rischio risulta essere indipendente dallo scarto e dai valori che questo può assumere. Uno scarto elevato, ovviamente, sarà indice di un rischio più grave, ma non per questo l’assenza di scostamento tra ipotesi e realtà potrà provare l’assenza di rischio.



Borghesi (1985) [9] sostiene che a seconda della posizione relativa del soggetto interessato, un evento sfavorevole può trasformarsi in evento favorevole e viceversa. Ogni evento sfavorevole (maggior perdita o minor guadagno rispetto alla situazione prevista), avrà come rovescio della medaglia un evento favorevole per qualche altro soggetto in rapporto con l'impresa e viceversa.

1.3 Il Risk Management

1.3.1 Premessa

Da molto tempo va di moda nel mondo manageriale parlare di aumento della complessità e dell'incertezza. Ciò ha favorito lo sviluppo di strumenti che servono a gestire (o a far pensare di poter gestire) questi elevati livelli di incertezza. Ecco nascere il ***Risk Management***, la cui applicazione si sta estendendo ai settori più disparati, dal nucleare, alla strategia aziendale, ai progetti, alla supply chain, al contesto sanitario, etc. Quello che accomuna queste diverse applicazioni è una sequenza delle fasi simili in tutti i settori: identificazione dei rischi, valutazione e analisi dei rischi, trattamento dei rischi, monitoraggio del processo svolto. Una struttura per certi versi “cartesiana”: la realtà è sminuzzata analiticamente nella speranza di prevedere tutto l'imprevedibile.

Il “rischio”, fino a poco tempo fa, era considerato solo nella sua accezione negativa (cfr. Hazard) e l'obiettivo del management delle società era proteggere il business minimizzando od eliminando i rischi a tutti i costi. Il “rischio” viene considerato parte integrante nella generazione del valore per gli azionisti e la sua gestione, attraverso la valutazione delle cause e la misurazione degli effetti, diviene fondamentale per il successo di un'impresa.



1.3.2 Necessità di considerare il rischio in azienda

È evidente che un'impresa non può essere indifferente al rischio ovvero alla possibilità di perdere; lo stesso *Bertini* sostiene che non tenendo conto del rischio si rinuncia esplicitamente a colmare l'eventuale distacco tra il mondo delle ipotesi e quello della realtà; in definitiva si accetta l'idea di *danno*. Se invece, in sede di formulazione di ipotesi non si tiene conto dei rischi in modo preventivo, questi possono arrivare anche a pregiudicare il raggiungimento degli obiettivi aziendali; senza la conoscenza del rischio, infatti, non c'è la possibilità di preparare o di adottare azioni correttive migliorative. Ovviamente, l'inclusione del rischio nelle ipotesi non elimina la possibilità di danno, ma ne riduce sensibilmente gli effetti.

Infatti, per trasformare le minacce in opportunità un'azienda deve conoscere, gestire e avere una comprensione profonda dei rischi, a cui è potenzialmente esposta, identificarne la portata e collegare il piano di risk management alla strategia aziendale. Oltre a modificarne le prospettive e gli obiettivi strategici, i rischi fanno mutare anche le posizioni attuali dell'azienda, determinando il sorgere di fenomeni reali, i quali incidono immediatamente sulle performance dell'impresa.

1.3.3 Alcuni cenni storici

Arthur Andersen afferma che: “la gestione dei rischi costituisce l'elemento caratterizzante la gestione d'impresa, di qualsiasi impresa: saper gestire adeguatamente tutti i rischi cui un'attività imprenditoriale è esposta, rappresenta l'elemento essenziale del successo”.

Il Risk Management può essere definito come: *il processo che tende a salvaguardare il patrimonio dell'impresa contro le perdite che possono colpirla nell'esercizio della propria attività, attraverso l'uso di strumenti di*



varia natura (prevenzione, ritenzione, assicurazione, etc.) e nelle migliori condizioni di costo [51].

La gestione del rischio affonda le sue radici nella stessa storia dell'economia dei tempi moderni [6] e ha cominciato a trovare riconoscimento ufficiale già nei primi decenni del secolo scorso. Per esempio, già negli anni Trenta *Fayol* [23], fra le funzioni attribuite al management, cita esplicitamente la *funzione di sicurezza*, intesa come protezione delle proprietà dell'impresa e delle risorse umane ivi operanti da eventi naturali o da comportamenti che possono recare danno al buon funzionamento dell'attività.

La gestione dei rischi d'impresa ha cominciato a prendere piede negli Stati Uniti tra il 1955 e il 1969. In quegli anni la motivazione principale nell'adozione di tecniche di gestione del rischio era la riduzione degli importi delle spese assicurative e, di conseguenza, la funzione *Risk Management* coincideva con la ricerca di idonee coperture assicurative [51]. Infatti, tradizionalmente, la funzione *Risk Management* nasce come evoluzione dell'*Insurance Management* [38]; il rischio identificato e valutato era esclusivamente quello “puro”² per diverse ragioni. Innanzitutto, le principali competenze in ambito di gestione del rischio erano di natura assicurativa. In secondo luogo, l'impatto economico - finanziario che in quegli anni assumeva la tipologia di danni associati ai rischi puri (per esempio l'incendio dello stabilimento) era senza dubbio predominante, mentre risultavano scarsamente percepiti gli altri rischi, come i rischi finanziari o strategici.

L'elevato numero di articoli pubblicati sul “*Journal of Risk and Insurance*” negli anni '60 segna l'avvenuta affermazione della disciplina nelle Università e nelle scuole di formazione e parallelamente induce gli studiosi a pubblicare i primi manuali. L'affermarsi della disciplina, anche dal punto di vista istituzionale, consentì di comprendere meglio gli scenari in cui il *Risk*

² *Rischio puro o statico*: è un rischio da cui può derivare solo un danno non controbilanciato dalla possibilità di ottenere un ritorno economico (per esempio incendi, distruzioni, rapine, danni durante il trasporto ecc.). I rischi puri sono imprevedibili, in quanto legati a eventi casuali o dolosi e presentano sempre una conseguenza negativa (perdite). In genere l'impresa si tutela da questa tipologia di rischi assicurando i propri beni, e adottando misure di protezione e prevenzione (es. sistemi antifurto, antincendio, ecc.).



Management poteva inserirsi e la sua importanza all'interno della gestione dell'azienda.

Dagli anni sessanta in poi il *Risk Management* conobbe una crescita lenta ma costante, anche all'interno delle aziende statunitensi, fino ad arrivare agli anni ottanta, in cui una forte crisi del mercato assicurativo (con conseguenti notevoli incrementi tariffari) fece emergere la necessità di adottare tecniche diverse da quella assicurativa [38]. Tale progressivo cambiamento portò al delinearsi della moderna accezione di gestione del rischio, corrispondente ad una sempre più netta separazione dalla gestione puramente assicurativa; la copertura assicurativa divenne una delle modalità di trattamento dei rischi, chiamata comunemente trasferimento dei rischi a terzi.

L'effetto combinato di globalizzazione, accelerazione e innovazione ha creato un contesto di cambiamento dinamico e complesso in cui il rischio diventa un elemento chiave da identificare, misurare, gestire e controllare: tutto questo tenendo presente che il tradizionale rischio finanziario (di credito, di tasso, di valuta, di liquidità, etc.) non è più l'unico focus della gestione; il Risk Management infatti deve essere ampliato per controllare un più vasto range di rischi di business, che include anche *i rischi di mercato, i rischi operativi e i rischi di innovazione*.

Il punto chiave di una buona gestione del rischio è quindi di considerare sempre i fattori di rischio come parte integrante del processo decisionale strategico; per fare questo in modo efficace è indispensabile conoscere quali rischi mitigare e quando mitigarli, sviluppando una conoscenza del rischio.

La gestione del rischio, da tecnica di valutazione delle possibilità alternative di copertura assicurativa, si trasforma gradualmente nel processo di identificazione e valutazione dei diversi rischi cui l'azienda è esposta, per deciderne poi la strategia di fronteggiamento, sulla scorta di adeguate valutazioni costi/benefici.

Si compie in tal modo il percorso che conduce dall'*Insurance Management* (che vede l'assicurazione come soluzione normale e la ritenzione o la non



copertura del rischio come fatto eccezionale) al *Risk Management*, approccio che per un verso affronta esplicitamente la gestione dei rischi non assicurabili, per altro verso vede l'assicurazione non già come soluzione standard, bensì come alternativa da valutare in termini di convenienza economica.

Nei tempi più recenti il *Risk Management* si è sviluppato secondo approcci e ambiti applicativi molto diversificati, ed è tuttora in fervente sviluppo.

Nell'intraprendere una ricerca bibliografica riguardante le pubblicazioni e i contributi scientifici e manageriali rilevanti degli ultimi quarant'anni, utilizzando la parola chiave "*Risk Management*", si è riscontrata la presenza di molte aree di studio teoriche e applicative, le quali, pur rientrando in un contesto generale di gestione del rischio, mantengono caratteristiche indipendenti e finalità diverse. Una delle maggiori difficoltà di avvicinarsi alle tematiche inerenti alla gestione del rischio d'impresa è dunque orientarsi tra i numerosi filoni di studio e le corrispondenti applicazioni. Infatti, il termine "gestione del rischio" assume una connotazione così generica, da rendere spesso necessaria una descrizione più precisa e dettagliata dell'oggetto di studio.

Il risultato dell'analisi approfondita della letteratura scientifica e manageriale, e dei principali manuali divulgativi, ha portato all'identificazione di nove principali direttrici di sviluppo appartenenti alla tematica generale di *Risk Management*:

1. Gestione del rischio strategico – *Strategic Risk Management (SRM)*;
2. Gestione del rischio finanziario – *Financial Risk Management (FRM)*;
3. Gestione integrata del rischio – *Enterprise Risk Management (ERM)*;
4. Gestione assicurativa del rischio – *Insurance Risk Management (IRM)*;
5. Gestione del rischio nei progetti – *Project Risk Management (PRM)*;
6. Gestione del rischio ingegneristico – *Engineering Risk Management (EnRM)*;



7. Gestione del rischio della filiera di fornitura – *Supply Chain Risk Management (ScRM)*;
8. Gestione del rischio catastrofe – *Disaster Risk Management (DRM)*;
9. Gestione del rischio clinico – *Clinical Risk Management (CRM)*.

Tali direttrici si differenziano non solo per la diversa definizione di gestione del rischio sostenuta dai rispettivi autori, ma in particolare per l'approccio utilizzato nell'affrontare tale tematica, per i rischi oggetto di analisi, per le tecniche e metodologie proposte e per gli ambiti di applicazione.

1.4 Vantaggi del Risk Management

Il Risk Management risulta essere lo strumento di controllo adatto per affrontare il problema della complessità derivante dagli innumerevoli fattori di rischio che caratterizzano l'ambiente in cui l'impresa opera. I maggiori vantaggi derivanti dall'applicazione del Risk Management, infatti, si concretizzano proprio nella gestione positiva del rischio, orientata alla creazione del valore. Inoltre, permette di ampliare la gamma di informazioni a disposizione del vertice con tutti gli stimoli provenienti dalla base dell'organizzazione, che segnalano i cambiamenti critici e permettono di cogliere le opportunità emergenti e di individuare le incertezze strategiche che potrebbero minacciare o invalidare la strategia di business in atto.

Le sollecitazioni che hanno portato a considerare in modo approfondito questa disciplina sono principalmente tre:

- ✓ la crescente incertezza nel sistema economico attuale;
- ✓ le implicazioni del cambiamento sul business model aziendale;
- ✓ le modifiche del rapporto tra stakeholders e management aziendale.

Lo scenario attuale ha delle componenti sempre più interconnesse e sono emersi nuovi fattori di rischio, sconosciuti in passato. E se la creazione di



valore è strettamente legata con il concetto di rischio, è chiaro che l'attenzione dei mercati finanziari si sposta sulla dimensione prospettica delle informazioni (forward looking) e alle deviazioni dalle previsioni (forecast).

Il Risk Management si presenta come uno strumento a disposizione del management per la gestione efficiente ed efficace dell'impresa nel nuovo contesto economico e per soddisfare, allo stesso tempo, le crescenti attese degli investitori, in termini di rendimento e di trasparenza.

Perché dunque, parlare di Risk Management?

- **Perché permette di approfondire le conoscenze sull'ambiente e sull'impresa** - La prima fase dell'analisi dei rischi prevede l'individuazione dei fattori di rischio, cioè di quelle variabili che hanno il potere di influenzare il business. Senza dubbio, l'analisi di queste variabili permette di approfondire le conoscenze dell'ambiente esterno, offrendo al management la possibilità di individuare le opportunità oltre che le minacce. L'analisi dell'ambiente esterno, insieme a quella delle variabili interne, permette all'azienda di prendere coscienza delle proprie caratteristiche, che la rendono unica, differenziandola da tutte le altre imprese. Questa considerazione ha un'implicazione di tipo strategico, dal momento che il Risk Management può essere un valido strumento a supporto della previsione: analizzando i rapporti di causa - effetto che legano le variabili del business al risultato, un valido sistema di gestione del rischio può emulare gli eventi del mondo reale, riducendo la variabilità che caratterizza le previsioni aziendali [33].
- **Perché è un valido supporto all'analisi decisionale ed ha notevoli implicazioni strategiche** - Ogni giorno gli individui, e non solo i managers delle imprese, prendono delle decisioni sulle azioni da intraprendere, su quanto tempo e risorse impiegare nello sviluppo del progetto, e su quali sono gli aspetti importanti da comunicare all'organizzazione e ai terzi. Ogni decisione comporta inevitabilmente



delle conseguenze e il Risk Management è lo strumento adatto per analizzare le diverse alternative e le relative conseguenze, offrendo un risultato probabilistico e una serie di possibilità. Anche se l'analisi del rischio può essere applicata ad una singola attività, caso o progetto, più in generale l'anima del processo di Risk Management consiste nel valutare le diverse opportunità, comparandole. L'analisi del rischio supporta dunque l'analisi decisionale. Entrambe incorporano l'approccio logico e analitico per prendere decisioni e proporre soluzioni in condizioni di incertezza.

1.5 Vincoli, convinzioni e sistemi di controllo

Per gestire i rischi strategici è necessario soprattutto comunicare vincoli efficaci, sia per la conduzione dell'impresa che per la sua strategia, e installare sistemi efficaci di controllo interni. I *sistemi di vincoli* hanno lo scopo di far conoscere i rischi da evitare e di rimuovere ogni possibilità di giustificare comportamenti in grado di esporre l'impresa a livelli di rischio indesiderabili. I *sistemi di controllo interno* hanno lo scopo di proteggere le attività patrimoniali dell'impresa e di rimuovere l'opportunità di commettere errori involontari o atti illeciti deliberati nell'elaborazioni delle transazioni e nella misurazione delle performance.

Insieme, questi due tipi di sistemi forniscono il controllo necessario per impedire che errori accidentali o deliberati compromettano la capacità dell'impresa di creare valore per i clienti, per gli azionisti e per chi ci lavora.

Coloro che all'interno di un'organizzazione detengono il potere devono ogni giorno effettuare delle scelte sul modo con cui creare valore. Essi devono saper bilanciare le tensioni tra profitto, crescita e controllo, tra obiettivi di breve termine e obiettivi di lungo termine, tra l'interesse personale e il

desiderio di contribuire al successo dell'organizzazione. A volte, però, può capitare che qualcuno persegua delle opportunità in un modo che in effetti danneggia l'impresa: opportunità non in linea con la strategia deliberata dell'impresa. Per essere certi che i dipendenti intraprendano il giusto tipo di attività, i manager devono prima di tutto infondere in loro un senso di impegno nei confronti di un chiaro insieme di valori di fondo.

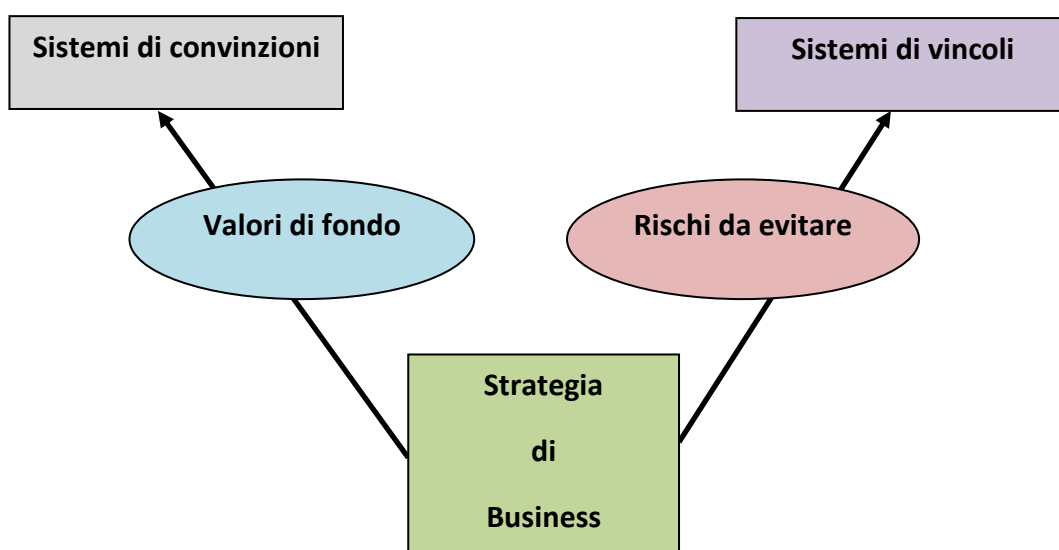


Figura 1.1 - Componenti fondamentali per una corretta strategia di business

I valori di fondo sono convinzioni che definiscono i principi, l'ambito e l'orientamento di base. Forniscono criteri guida sulle responsabilità nei confronti di clienti, dipendenti, comunità locali e azionisti.

I valori di fondo forniscono criteri guida ai dipendenti laddove regole e procedure operative standard da sole non bastano. Senza un senso di partecipazione allo scopo dell'organizzazione in cui lavora, un individuo non riuscirà a essere pienamente coinvolto nelle decisioni che influiscono su crescita e redditività.

Il management deve comunque difendersi sia dalle violazioni deliberate sia dagli errori involontari della società. Errori possono verificarsi in molti modi: persone con poca esperienza possono elaborare le transazioni in modo



scorretto, ma anche persone esperte possono commettere errori involontari nella fretta del disbrigo quotidiano delle loro incombenze.

A causa di questi rischi inevitabili, anche i manager delle imprese molto piccole devono implementare controlli e protezioni per poter essere certi che tutte le informazioni sulle transazioni siano contabilizzate nel modo appropriato. Questi sistemi e procedure, chiamati controlli interni, sono definiti come le politiche e le procedure studiate per garantire l'affidabilità delle informazioni contabili e salvaguardare le attività patrimoniali della società [44].

La comprensione approfondita dei principali rischi in termini di categoria, probabilità e impatto consente di renderli trasparenti facilitando la valutazione sull'opportunità di assumerli e/o mitigarli.

Le aziende devono quindi sviluppare, a livello di corporate e di business units, una cultura del rischio talmente diffusa per cui tutti i manager sono indotti a valutare contemporaneamente sia i ritorni che le potenziali perdite integrando così l'analisi del rischio nel processo decisionale *day by day*.

Sono 4 gli elementi essenziali che devono essere assicurati e risultare sempre allineati per costruire un efficace governo del rischio:

- ✓ Trasparenza - Le aziende devono conoscere esattamente quali rischi affrontare e il loro potenziale impatto sul business;
- ✓ Strategia - Formulare una strategia di rischio che consenta all'impresa di articolare il proprio "*risk attitude*" in funzione delle tipologie e dell'ampiezza dei rischi che può sostenere a fronte dei ritorni potenzialmente generabili, è una delle più importanti attività da compiere con riferimento alle decisioni di investimento a livello di Business Unit e Corporate. Definire questi elementi fornisce chiarezza e direzione ai manager e favorisce la ricerca dei trade off ottimali tra *rischio* e *ritorno* allineando la strategia di rischio con la strategia generale dell'azienda;



- ✓ “Accountability” - Il compito di una efficace organizzazione del rischio è di identificare, misurare e valutare il rischio in modo “consistente” in ogni Business Unit (o divisione) e quindi fornire una visione integrata, a livello corporate, di questi rischi, assicurando che la loro somma sia un profilo di rischio coerente con la strategia di rischio dell’azienda;
- ✓ Cultura del rischio - Lo scopo è quello di far sì che i manager, quando elaborano processi decisionali, considerino “istintivamente” nell’ambito della loro mappa mentale sia i ritorni che i rischi. Per creare una cultura del rischio efficace, le aziende si devono dotare di un processo di “risk review” formale e “company-wide”, dove ogni BU sviluppa il proprio profilo di rischio che viene poi aggregato a livello di corporate.

La gestione del rischio sarà una delle chiavi del successo per le aziende che competono in un’economia globale e in sempre più rapido cambiamento.

Il processo di valutazione equilibrato che deve produrre il giusto trade-off è solo parzialmente dovuto all’applicazione di metodologie, procedure e strumenti; è invece soprattutto il risultato di azioni coordinate, finalizzate a sviluppare sensibilizzazione diffusa, comportamenti trasparenti e consapevoli, corrette informazioni e responsabilizzazione nonché presidio unitario dell’organizzazione della gestione del rischio.

1.6 Obiettivi, caratteristiche e fasi

I principali obiettivi della funzione di gestione del rischio sono:

- ✓ contribuire a creare valore aziendale (massimizzare il profitto d’impresa tramite la minimizzazione dei costi);



- ✓ promuovere immagine e sicurezza esterna (clienti, fornitori e tutti i vari stakeholders), ed interna (dipendenti, azionisti);
- ✓ contribuire a rendere meno incerta la gestione aziendale;
- ✓ assicurare la continuità produttiva dell'azienda, grazie ad una sufficiente protezione dai rischi; assicurare sia il normale e continuo svolgimento del processo produttivo, sia l'autonomia economica dell'azienda stessa;
- ✓ concorrere alla diminuzione e all'eliminazione dei rischi di fallimento o di chiusura dell'impresa, al seguito del manifestarsi di uno o più eventi dannosi [51].

Un approccio al Risk Management deve presentare alcune caratteristiche [19], derivanti dal fatto che il management debba essere nella condizione di poter confidentemente assicurare gli investitori e gli altri stakeholder della propria capacità di accettare e governare i rischi connessi al business, in coerenza con il profilo di rischio prescelto:

- consentire il governo integrato del sistema dei rischi che gravano sul business (e/o sull'azienda), in contrapposizione a una gestione frammentata e scarsamente coordinata dei rischi;
- accogliere un approccio pro-attivo alla gestione dei rischi, e non limitarsi al contenimento delle perdite relative a specifici rischi;
- accogliere una visione allargata del sistema di business, che consideri i fattori di rischio relativi a clienti, fornitori, distributori e altri business partner;
- svolgersi con continuità nell'arco dell'esercizio, non alla stregua di un adempimento periodicamente dovuto, ma come una naturale componente del sistema di management.

Ciò presuppone:

- l'adozione di un *linguaggio comune* che consenta di apprezzare il sistema dei rischi aziendali nel suo insieme;



- la definizione di una chiara *politica di gestione dei rischi* e di una altrettanto chiara assegnazione di *responsabilità*;
- la condivisione di *metodologie, tecniche e sistemi di supporto* per il riconoscimento, la definizione, la valutazione dei rischi, in assenza dei quali risulta praticamente impossibile sviluppare piani di gestione che affrontino i rischi a livello aggregato (per tipologia, per area di business, per fattore determinante);
- l'*integrazione* del processo di gestione dei rischi all'interno dei sistemi di definizione degli obiettivi, di elaborazione dei programmi e di misurazione dei risultati.

Il processo di *RM* si articola in quattro fasi operative fondamentali:

1. *identificazione dei rischi*, finalizzata ad individuare i rischi a cui è esposta l'impresa;
2. *valutazione e analisi dei rischi*, che ha lo scopo di determinare la probabilità e la severità (magnitudo) attesa, associata a verificarsi dell'evento dannoso;
3. *trattamento dei rischi*, che identifica le azioni più idonee da intraprendere per ridurre il rischio;
4. *monitoraggio del processo svolto*.

In letteratura le prime due fasi (identificazione, valutazione e analisi) sono spesso definite *Risk Assessment*.

I manager sono sempre più consapevoli dell'importanza di una gestione del rischio orientata, da un lato, verso una prospettiva interna di raggiungimento degli obiettivi aziendali, dall'altro verso una salvaguardia del valore creato per azionisti e *stakeholder* dell'impresa.

La gestione del rischio è un problema di governance, prima ancora che una questione di tecniche.

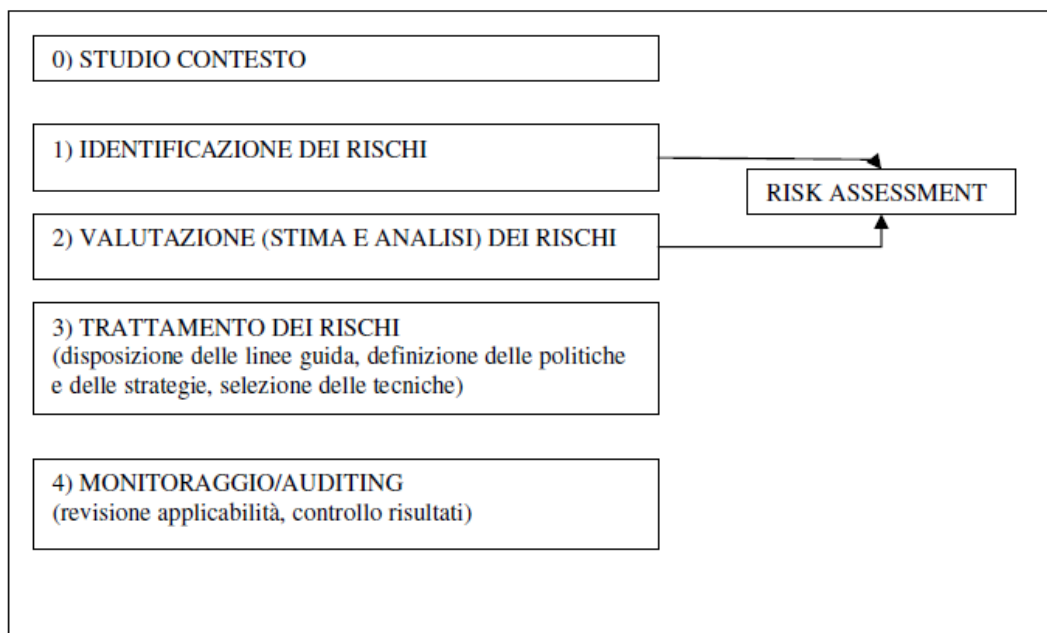


Figura 1. 2 - Fasi del Risk Management

1.7 Le fasi del processo di Risk Management

Il processo di gestione del rischio si sviluppa naturalmente attraverso alcuni passi logici:

- I. Definizione delle finalità attribuite al sistema di Risk Management;
- II. Identificazione dei rischi;
- III. Valutazione dei rischi;
- IV. Definizione dei programmi di azione necessari per fronteggiare i rischi identificati;
- V. Implementazione dei programmi;
- VI. Valutazione e revisione degli esiti.

In assenza di una chiara definizione del quadro entro cui collocare i vari interventi di Risk Management, questi tenderanno a essere frammentati e incoerenti.

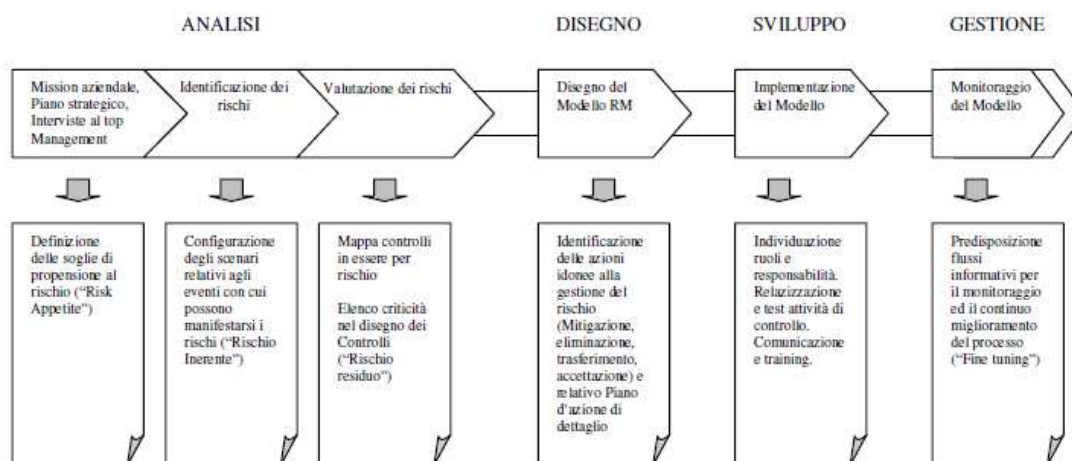


Figura 1. 3 – Dettaglio delle fasi del Risk Management

Il Risk Assessment è solo la prima fase di un processo di Risk Management, finalizzata all'identificazione e valutazione dei fattori di rischio laddove il Risk Management, nel suo complesso, include anche le attività di gestione e monitoraggio dei rischi identificati e valutati con l'Assessment.

Risk Assessment è la fase cruciale del processo di Risk Management perché un'errata identificazione o valutazione dei rischi comprometterà irrimediabilmente l'efficacia complessiva del processo.

1.7.1 Identificazione della propensione al rischio

La fase iniziale di un Risk Assessment non può prescindere dalla puntuale rilevazione di quale sia la propensione al rischio della Direzione Aziendale ("Risk Appetite"). Tale dimensione, infatti misura in termini quantitativi e qualitativi:

- ✓ L'ammontare di capitale che si è disposti a rischiare per raggiungere gli obiettivi prefissati;
- ✓ Il rischio che si è disposti ad assumersi per il raggiungimento degli obiettivi.



Di solito questa attività viene svolta mediante:

- Analisi dei documenti contenenti principi, filosofia e strategia del management;
- Interviste con il Top Management al fine di rilevare la loro percezione dei principali rischi aziendali e soprattutto, le soglie ritenute accettabili in funzione degli obiettivi loro assegnati e della tipologia di business.

Accolto che la missione minimale attribuibile al Risk Management consiste nell'assicurare la sopravvivenza del business (o dell'azienda), al vertice aziendale compete di formulare una politica aziendale di gestione del rischio che espliciti le relazioni fra Risk Management e processi di elaborazione di obiettivi e programmi gestionali, che tracci le linee guida per la scelta delle diverse strategie e tecniche di protezione dal rischio, che assegni responsabilità formali di gestione del rischio all'interno dell'organizzazione.

1.7.2 Identificazione dei rischi

Il secondo passo logico consiste nell'identificazione dei rischi. Si pongono qui due ordini di problemi. In primo luogo, le indicazioni offerte dalla politica aziendale contribuiscono a definire la tipologia di rischi o la soglia di rilevanza dell'impatto atteso, superata la quale i rischi identificati assumono significato per l'impresa e divengono oggetto di gestione. In secondo luogo, l'identificazione dei rischi può condursi avvalendosi di diverse tecniche e strumenti quali interviste, questionari, analisi di processi, ispezioni, checklist di controllo.

L'identificazione dei rischi consiste nell'identificare i rischi che, dal punto di vista teorico sono concretamente applicabili al contesto aziendale.

Le tecniche più comunemente usate per l'identificazione dei rischi sono:

- *Brainstorming*;



- *Subject Matter Experts* (comitato di esperti);
- Utilizzo di database o benchmark predisposti da apposite agenzie;
- *Lessons learned*, ovvero l'utilizzo di esperienze precedenti.

Fedeli al principio che non esiste la “One best way” si ritiene opportuno che la tecnica migliore vada decisa in base alle differenti situazioni o, meglio, che sia un mix ponderato di tutte le tecniche citate.

1.7.3 Valutazione dei rischi

I rischi identificati devono essere oggetto di valutazione da parte del management. Una valutazione che, canonicamente, deve combinare una misura dell'impatto atteso con la probabilità di manifestazione dell'evento, al fine di stimare l'esito derivante dai vari rischi.

Tale valutazione consentirà di ordinare i vari rischi secondo la priorità, onde poter orientare l'attenzione del management e la scelta delle soluzioni di gestione.

La valutazione del rischio (suggerita dal *CoSO-ERM*) viene fatta secondo i tradizionali parametri dell'impatto e della probabilità. Il concetto di probabilità è stato progressivamente sostituito da quello di *vulnerabilità*, ovvero da quanto può verificarsi in termini concreti l'evento, tenuto conto dell'esistenza di controlli a prevenzione dell'evento stesso. La vulnerabilità incorpora il concetto di rischio *residuo* da abbinare a quello *inerente* contenuto nell'impatto. La loro combinazione, unitamente all'orizzonte temporale fornisce un'indicazione, nel periodo di riferimento, del danno che potrebbe subire l'impresa se si verificasse un evento sfavorevole, tenuto conto del sistema di controllo esistente rappresentato da risorse, procedure, complessità del processo o fattori esterni.

1.7.4 Disegno

Il passo successivo consiste nell'elaborazioni di programmi per la gestione dei rischi identificati, qualificati e quantificati nelle fasi precedenti. Emerge in questa fase l'importanza di una chiara politica di gestione che orienti la scelta delle soluzioni tecniche da adottare per fronteggiare le diverse tipologie di rischio.

Consiste nell'identificare per ogni rischio individuato un appropriato piano di gestione.

Gli approcci possibili sono i seguenti:

- *Avoidance*: eliminare le attività correlate agli eventi che possono generare il rischio identificato; una strategia di *risk avoidance* prevede semplicemente la non accettazione del rischio, neppure temporanea. Tale strategia implica pertanto il rigetto di qualunque attività possa determinare l'insorgere del rischio [4]. È evidente che tale strategia si traduce in un gioco al ribasso, nel rifiuto di tutte le opportunità che in qualche modo potrebbero implicare il sorgere di determinate tipologie di rischio. Si tratta di un approccio negativo alla gestione del rischio che, se usato estensivamente, finirebbe con l'impoverire le fonti della creazione di valore;
- *Transference*: trasferire a terze parti gli effetti negativi dell'evento; il *risk transfer* consiste nel trasferimento del rischio da un soggetto che non intende sopportarlo ad un altro che invece è disponibile a farsene carico [4];
- *Mitigation*: predisporre attività aggiuntive che riducano la probabilità di accadimento dell'evento o ne riducano l'impatto; una strategia *risk reduction* può essere condotta secondo due modalità, [4]. Una prima strategia passa attraverso la prevenzione e il controllo delle perdite associate al rischio in oggetto (intrusione illecita e/o furti). Da un certo punto di vista la prevenzione è una forma di riduzione del rischio



particolarmente desiderabile. Tale strategia non può però essere sempre adottata, vuoi per limiti di efficacia (non tutti i rischi possono essere anticipati), vuoi per ragioni di efficienza (il costo di riduzione potrebbe eccedere il danno potenziale). Una seconda strategia di risk reduction poggia sulla legge dei grandi numeri: più elevato è il numero di unità esposte a un medesimo rischio, più bassa l'incidenza di una singola perdita sul totale dell'esposizione;

- *Acceptance*: concettualmente il rischio viene accettato e non viene realizzata nessuna attività che agisca sulla probabilità e sull'impatto dell'evento sfavorevole, ma viene predisposto un piano di emergenza (*contingency plan*), contenente tutte le azioni da porre in atto nel caso del manifestarsi dei rischi identificati; possiamo considerare sotto questo ambito [4] le strategie di *risk retention*, che probabilmente sono le più diffuse. È importante considerare il fatto che molti di questi rischi sono trattenuti *inconsapevolmente* dalle imprese, non per scelta ma per ignoranza: per il semplice fatto di non essere stati identificati come tali. Altri rischi sono invece trattenuti per la materiale impossibilità di evitarli, trasferirli o ridurli. La ritenzione del rischio è una strategia assolutamente legittima, e spesso la più conveniente, a patto che i rischi siano volontariamente ritenuti e che rientrino all'interno di predefiniti margini di tolleranza e di sopportabilità.

1.7.5 Sviluppo

Consiste nel predisporre e/o aggiornare l'assetto organizzativo a supporto del processo di Risk Management.

Le fasi del processo, in sintesi potrebbero essere:



- Predisporre, sulla base delle Best Practices esistenti, il modello di organizzazione Risk Management più adatto al contesto dell'impresa;
- Rilevare l'attuale assetto organizzativo, anche informale, a supporto del processo di Risk Management;
- Eseguire un *gap analysis* rispetto a: Ruoli e responsabilità dei soggetti coinvolti, Disponibilità di risorse (in termini numerici, di competenze o di formazione), Processi operativi, con particolare riferimento ai flussi informativi e di reporting, Tecnologia, intesa come esigenza di avere applicazioni software a supporto del modello, Ambiente di controllo, inteso come necessità di predisporre idonee disposizioni organizzative e procedure formali a regolamentazione di quanto individuato prima, Predisposizione di un piano di azione a copertura dei gap rilevati nella fase precedente.

1.7.6 Monitoraggio

Il monitoraggio degli esiti dei programmi costituisce il naturale punto di saldatura fra un ciclo di Risk Management e il successivo, costituendo un momento di verifica sia del grado di conseguimento degli obiettivi, sia della corretta implementazione dei programmi prescelti.

Ogni deviazione dagli obiettivi e dalle politiche dovrà essere oggetto di un'analisi finalizzata a esaminare i processi decisionali adottati e ad identificare i fattori che ostacolano il successo delle soluzioni adottate.

La naturale dinamica del sistema dei rischi richiede inoltre una periodica attività di revisione finalizzata a mantenere aggiornato il repertorio dei rischi rilevanti per il business (o l'impresa) e per validare periodicamente il processo di gestione in atto. Ciò consente di verificare che l'implementazione



del modello Risk Management sia costantemente allineato alle esigenze espresse dall'Alta Direzione Aziendale.

1.8 Il Risk Assessment

1.8.1 Premessa

La capacità di identificare, selezionare, misurare e gestire i fattori di rischio e i rischi diventa una fonte di vantaggio competitivo perché permette all'azienda di assumere rischi derivanti da progetti di investimento o adottare modelli di business che, senza un adeguato sistema di monitoraggio e gestione, non sarebbero sostenibili. L'aspetto innovativo emerso in questi ultimi anni rispetto al passato riguarda l'ampiezza dell'oggetto analizzato (non più rischi specifici collegati a una funzione aziendale ma, invece, il sistema dei rischi aziendali nel suo complesso) e l'attribuzione della responsabilità all'interno dell'azienda relativamente al monitoraggio e alla gestione dei rischi (il board e top management, oltre che il management funzionale).

Il rischio deve essere considerato parte integrante nella misurazione della performance e conseguentemente nella generazione del valore, e la sua identificazione, attraverso la valutazione delle cause e la misurazione degli effetti, diviene fondamentale per il successo di un'impresa.

Per poter far fronte all'incertezza (nelle sue differenti forme e livelli) non è sufficiente analizzare la dinamica dell'ambiente esterno, porre attenzione all'interazione strategica tra l'impresa e valutare il comportamento degli attori operanti nel sistema competitivo. Se si vogliono individuare le scelte aziendali «più adeguate», anche in situazioni in cui il livello di incertezza è



ridotto, è necessario domandarsi come un'impresa sia in grado di rispondere alle nuove sfide che le si presentano.

In sostanza, occorre valutare come l'azienda è in grado, da un lato, di relazionarsi al proprio ambiente di riferimento valutandone gli elementi di opportunità e i vincoli esterni, dall'altro di com'è in grado di valutare i propri punti di forza e di debolezza. Quindi, oltre all'analisi dell'ambiente esterno e alla valutazione dei punti di forza e di debolezza aziendali, la capacità di un'impresa di rispondere all'incertezza ambientale viene supportata da sistemi di programmazione e di controllo, di pianificazione e di gestione strategica [4].

Il Risk Assessment si presenta come un elemento sempre più centrale nella conduzione di un'impresa non solo a livello corporate per le relazioni con gli investitori, ma anche di conduzione operativa delle attività *day by day*.

Esso è finalizzato al conseguimento degli obiettivi aziendali rientranti nelle seguenti categorie [15]:

- *Strategici*: sono di natura generale e definiti ai livelli più elevati della struttura organizzativa, allineati e a supporto della mission aziendale;
- *Operativi*: riguardano l'impiego efficace ed efficiente delle risorse aziendali;
- *Di reporting*: riguardano l'affidabilità delle informazioni fornite dal reporting;
- *Di conformità*: riguardano l'osservanza delle leggi e dei regolamenti in vigore.

Il management nell'identificare un evento è sicuro solo della sua incertezza: non sa se l'evento accadrà, quando accadrà e il suo preciso impatto nel caso si verificasse. Inizialmente, il management considera una serie di eventi potenziali (originati da fonte interna o esterna), senza necessariamente soffermarsi sulla positività o negatività dell'impatto. In tal modo, il management identifica non solo eventi con un impatto negativo, ma anche quelli con un impatto positivo, cioè le opportunità da perseguire.



Gli eventi vanno da quelli facilmente rilevabili, e cioè ovvi, a quelli di difficile rilevazione.

Gli effetti di questi eventi possono variare ampiamente: si va da quelli senza alcuna conseguenza a quelli con conseguenze rilevanti.

Pertanto diventa prioritario sviluppare sistemi e modelli che permettono al management di individuare e selezionare, tra tutti gli eventi che si presentano potenzialmente d'impatto sui risultati aziendali, quelli più significativi e che, pertanto, diventa necessario monitorare e gestire.

La priorità inizialmente verte all'individuazione dei *fattori di rischio che possono compromettere il raggiungimento degli obiettivi aziendali* e solo successivamente all'adozione di tecniche per l'identificazione, la selezione e la misurazione dei rischi e dell'impatto sulla performance che richiedono un livello di strutturazione e rigore matematico pari a quello tipico dei modelli orientati ai rischi finanziari e di mercato. Individuare i rischi significa quindi ricercare nell'ambiente esterno, nel sistema competitivo e nel proprio modello di business le determinanti di eventi che possono esporre a un rischio nel raggiungimento degli obiettivi aziendali [43].

1.8.2 Identificazione dei rischi

Il rischio è interpretabile come l'insieme degli effetti che potranno manifestarsi su una variabile (di performance) e può essere rappresentato utilizzando misure espresse secondo un metro monetario oppure con la metrica più adatta al fenomeno al quale si riferiscono. Il rischio, inteso come variabilità degli effetti, esiste fino a quando vi è un'incertezza su quali saranno gli esiti delle cause che lo determinano e scompare quando si realizzano tutte le cause conosciute *a priori*.



L'identificazione dei rischi (*risk identification*) è finalizzata alla ricerca e alla selezione degli eventi e delle variabili che devono essere monitorati al fine di difendere i livelli di risultato conseguibili allo stato attuale o ipotizzati nel processo di pianificazione.

Secondo una prospettiva gestionale, ciò implica che i rischi possono essere valutati e misurati ma non possono essere direttamente controllati o gestiti: sono i fattori di rischio che devono essere monitorati e governati.

Il fattore tempo è un elemento essenziale nella specificazione dei fattori di rischio e dei rischi in base alla constatazione empirica dell'esistenza di un intervallo tra il momento in cui vengono formulate le aspettative e il momento nel quale tali aspettative si manifestano. I fattori di rischio e l'incertezza a essi collegata acquistano una doppia caratterizzazione: *se un evento si verifica e quando si verifica*. Una seconda determinante per la caratterizzazione dell'incertezza e dei fattori di rischio riguarda la mancanza di informazioni relativamente all'accadimento di un evento e all'incapacità di previsione di un evento futuro e dei suoi effetti sulla performance aziendale. Quindi appare evidente come un miglioramento nelle capacità previsionali e di gestione dei fattori di rischio di un'impresa determini una riduzione del livello di incertezza e, di conseguenza, del rischio riconducibile e associato a un qualsiasi evento o decisione. L'incertezza trova origine anche in vincoli di carattere economico e tecnico, come l'insufficienza di informazioni, che porta alla constatazione dei fatti aziendali piuttosto che alla loro previsione e che pone limiti alla possibilità di conoscenza da parte degli individui [27].

Spesso gli eventi non accadono come fatti isolati. Un evento può provocarne un altro e più eventi possono verificarsi tutti nel medesimo momento. Nell'identificare gli eventi, il management deve capire come gli eventi sono correlati tra loro. Valutando le relazioni, si può determinare dove è più conveniente dirigere gli sforzi per gestire il rischio.

Può risultare conveniente raggruppare gli eventi potenziali in categorie. Aggregando gli eventi orizzontalmente, a livello aziendale, e verticalmente, a



livello di unità operativa, il management può capire meglio le correlazioni che intercorrono tra gli eventi e ottenere così una base valida per la valutazione dei rischi. Raggruppando eventi simili, il management può meglio identificare le opportunità e i rischi. La classificazione degli eventi in categorie consente al management di accertare che gli eventi identificati siano completi.

Gli eventi, se si verificano, possono avere un impatto negativo, positivo o entrambi. Gli eventi con un impatto negativo costituiscono i rischi, che richiedono una valutazione e una risposta da parte del management. Di conseguenza, il rischio si può definire come la possibilità che un evento accada e pregiudichi il conseguimento degli obiettivi. Gli eventi con un impatto positivo rappresentano opportunità o compensazioni di impatti negativi generati dai rischi.

L'opportunità è la possibilità che un evento accada e incida positivamente sul conseguimento degli obiettivi e sulla creazione di valore. Gli eventi che rappresentano opportunità richiedono un riesame della strategia formulata in precedenza o del processo di definizione degli obiettivi in atto, in modo che si possano definire i necessari interventi per cogliere, appunto, le opportunità che si presentano.

Una miriade di fattori esterni (economia, ambiente, politica, sociale, tecnologia) e interni (infrastrutture, personale, processi) originano gli eventi che influiscono sull'implementazione della strategia e sul conseguimento degli obiettivi. È fondamentale che il management acquisisca conoscenza di questi fattori e della tipologia di eventi a essi riferibili.

1.8.3 Identificazione dei fattori di rischio

Elemento chiave nell'intero processo di Risk Assessment è l'identificazione dei fattori di rischio. Un punto critico di questa fase è relativo alla capacità di individuare tutti i fattori di rischio che si presentano potenzialmente «rilevanti». Tale carattere potenziale dei fattori di rischio rilevanti si riferisce al fatto che *non tutte le variabili sulle quali grava un'aleatorietà (incertezza) quanto agli accadimenti futuri sono fattori di rischio per l'azienda* [11]. Questa dinamicità si presenta allora come un fattore di rischio solamente quando ha effetto sui fattori critici di successo, e conseguentemente, sulla performance aziendale.

La caratteristica chiave di un fattore di rischio è quindi quella di modificare la distribuzione attesa dei risultati e, nell'accezione corrente all'interno del Risk Management, di contribuire a impedire che l'azienda raggiunga i propri obiettivi.

Una volta definita la lista dei fattori di rischio potenziali, si devono identificare quali sono quelli che hanno un impatto effettivo sui risultati aziendali, sugli eventi che compromettono i fattori critici di successo.

Una metodologia per identificare gli eventi può consistere in una combinazione di tecniche, insieme a strumenti di supporto.

L'ampiezza dell'analisi, la tempistica e i metodi per identificare gli eventi variano da un'azienda all'altra. Il management seleziona le tecniche che più si adattano alla sua filosofia di gestione del rischio e si assicura che l'azienda sviluppi le capacità necessarie per identificare gli eventi e che gli strumenti di supporto siano disponibili.

La vera e propria attività di identificazione dei fattori di rischio viene normalmente condotta mediante riunioni (*workshop*) alle quali partecipano vari livelli del management aziendale. Grazie a queste riunioni viene individuata una serie di informazioni che riguardano i differenti fattori di



rischio: nella maggior parte dei casi la stima della probabilità di accadimento degli eventi incerti, la previsione con un certo intervallo temporale di anticipo del loro manifestarsi e la valutazione dell'impatto sui kpi viene condotta tramite valutazioni soggettive.

Una implicazione dell'individuazione dei fattori di rischio riguarda la trasparenza e la possibilità di condividere all'interno dell'azienda il sistema di relazioni causali individuate come rilevanti. È fondamentale adottare un linguaggio comune, così che tutte le funzioni aziendali concordino sul significato che si attribuisce ad un rischio evitando pericolosi fraintendimenti. Quindi anche definire il concetto di rischio, esposizione ed incertezza è un utile esercizio preliminare di linguaggio comune. È inoltre fondamentale che il management si concentri preliminarmente sulla creazione di una base comune da cui partire, affinché il processo di gestione dei rischi possa essere compreso ed accettato da tutta l'organizzazione. Il Risk Management deve essere parte integrante dell'attività quotidiana e ogni persona che opera in azienda, indipendentemente dal ruolo che ricopre, deve essere responsabilizzata sull'assunzione, sul monitoraggio e sulla gestione dei fattori di rischio.

1.8.4 Classificazione dei fattori di rischio

La necessità di classificare i fattori di rischio all'interno del processo di Risk Assessment nasce dalla constatazione che il risultato della fase di identificazione dei rischi è la realizzazione di una lista di eventi che possono mettere a rischio il raggiungimento dei risultati aziendali.

La metodologia di analisi più diffusa consiste nel formare gruppi di lavoro all'interno delle business unit la cui finalità è quella di individuare quelle che sembrano essere le cause che maggiormente incidono sulla variabilità



prospettica della performance. Dall'attività separata di questi gruppi di lavoro, due sono gli elementi critici che emergono e che determinano l'importanza della classificazione. Il primo è un problema di *linguaggio*: ogni fattore di rischio deve essere definito e individuato semanticamente allo stesso modo in tutti i gruppi di lavoro. Il secondo problema è la necessità di *consolidamento*, cioè di ricondurre i rischi a una griglia comune. Il consolidamento può essere articolato nelle dimensioni relative alla *misurazione* degli effetti che tali fattori di rischio determinano sulla performance aziendale e alla *gestione* di tali fattori.

Se si adotta una chiave di lettura principalmente descrittiva, i fattori di rischio sono di norma classificati in relazione alla loro origine (esterna, decisioni interne e processi) o in relazione alla tipologia (strategici, operativi, finanziari).

Il procedimento per raggiungere tale risultato è il seguente. Il primo passo è quello di dividere le fonti di incertezza del business in tre macro-aggregati:

- **I rischi connessi al contesto esterno:** i quali si manifestano come fattori (externally driven) che influenzano il raggiungimento degli obiettivi aziendali, possono avere un impatto diretto sul raggiungimento dei risultati aziendali oppure influenzare le scelte in relazione alle strategie, alle *operations*, alle relazioni con i clienti o con i fornitori, alla struttura organizzativa e all'assetto finanziario. Ne sono un esempio la concorrenza, l'instabilità politica o la disponibilità di credito (solo per citarne alcuni);
- **I rischi connessi ai processi:** sono quei rischi identificabili nell'attività economica e produttiva dell'azienda, sono un esempio i rischi operativi (insuccesso di un prodotto) ed i rischi finanziari (cambio), sono riconducibili all'incertezza che colpisce l'esecuzione del modello di business aziendale;
- **I rischi di informativa del processo decisionale:** sono riconducibili ad errori o mancanze degli strumenti utilizzati per prendere decisioni,



alla conseguente incertezza sulla rilevanza e sull'affidabilità delle informazioni che supportano le decisioni aziendali. Tali rischi hanno origine quando i dati e le informazioni utilizzate a supporto dei processi decisionali sono incompleti, non aggiornati, non accurati, disponibili in modo non tempestivo o, in via più generale, semplicemente non rilevanti per il processo decisionale aziendale. Ad esempio i rischi di errori nella pianificazione e nell'elaborazione dei budget.

Tali categorie si presentano strettamente interrelate l'una con le altre.

Le prime due categorie di rischio sono determinate dalla situazione interna ed esterna del business, mentre la terza è influenzata direttamente dall'efficacia e dall'affidabilità dei sistemi informativi aziendali e dai processi, formalizzati e non, di raccolta di dati e informazioni finalizzati a individuare dati rilevanti, trasformare tali dati in informazioni significative per le decisioni e fornire tali informazioni al top management nei tempi e secondo le modalità appropriate. Il passo seguente è quello di creare un Business Risk Model come quello illustrato in Figura 1.4.

Il raggruppamento dei fattori di rischio avviene perciò a valle di un'analisi delle cause di ciascun fattore: essi sono considerati come appartenenti alla stessa classe quando vengono identificate le cause comuni alle quali poterli ricondurre.

Questa classificazione si fonda sui *diagrammi causa-effetto*, che sono riconducibili allo schema logico utilizzato per identificare in maniera sistematica tutte le cause reali o presunte che determinano uno stesso effetto. I fattori di rischio vengono quindi raggruppati, indipendentemente dalla loro natura, solamente con riferimento a eventi o decisioni che ne sono causa, allo scopo di poter incidere su queste determinanti comuni.

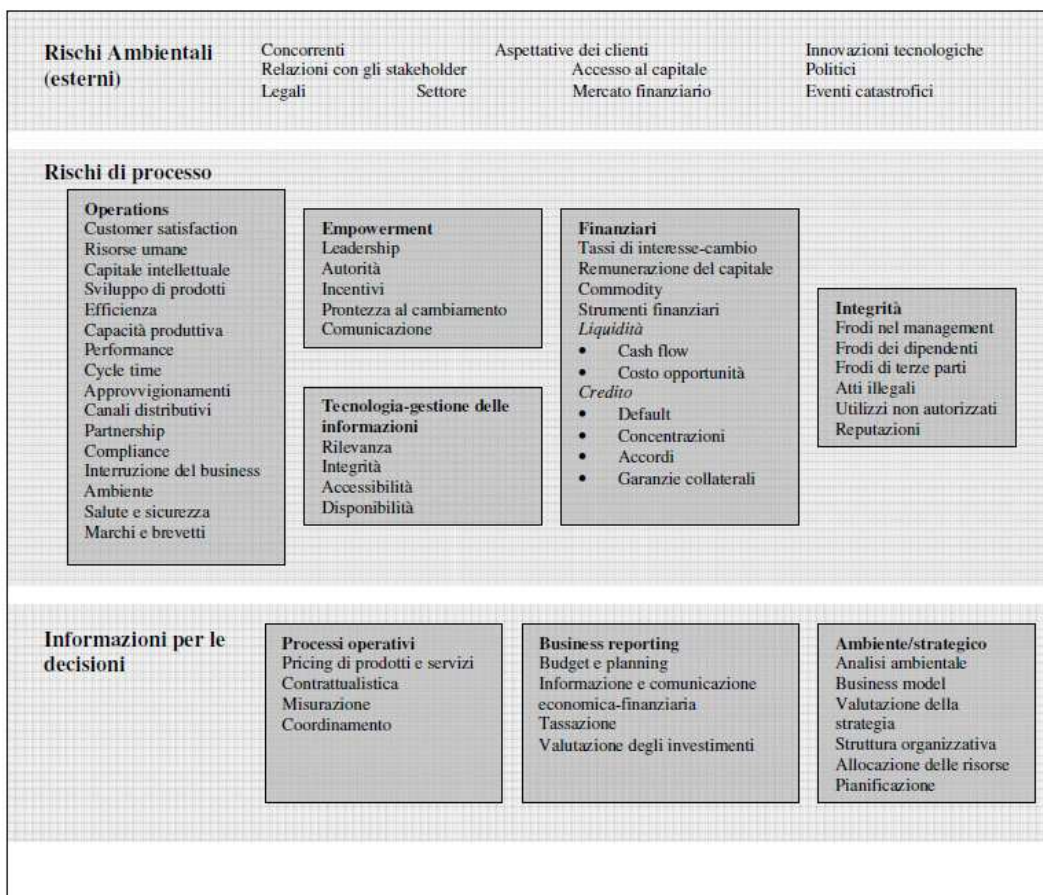


Figura 1. 4 - Business Risk Model

I rischi dopo essere stati individuati e inseriti nella griglia vengono descritti brevemente uno ad uno; per fare questa attività il gruppo deve essere composto da appartenenti a tutte le aree gestionali della società, in quanto è richiesta una conoscenza approfondita del business. Questo è il metodo usato da *Arthur Andersen*, ma non è l'unico.

Simons (2004) [45] sottolinea parecchie volte l'esigenza dell'imprenditore di comprendere i rischi e identificarli. Nell'ambiente in cui opera l'impresa, i manager devono saper cogliere le condizioni suscettibili di trasformare specifiche categorie di rischi in pericoli effettivi. I manager, per gestire con efficacia l'impresa, devono stimare il *rischio strategico*, che è un evento o un insieme di condizioni inaspettate che riducono in misura significativa la capacità dei manager di implementare la strategia di business deliberata.

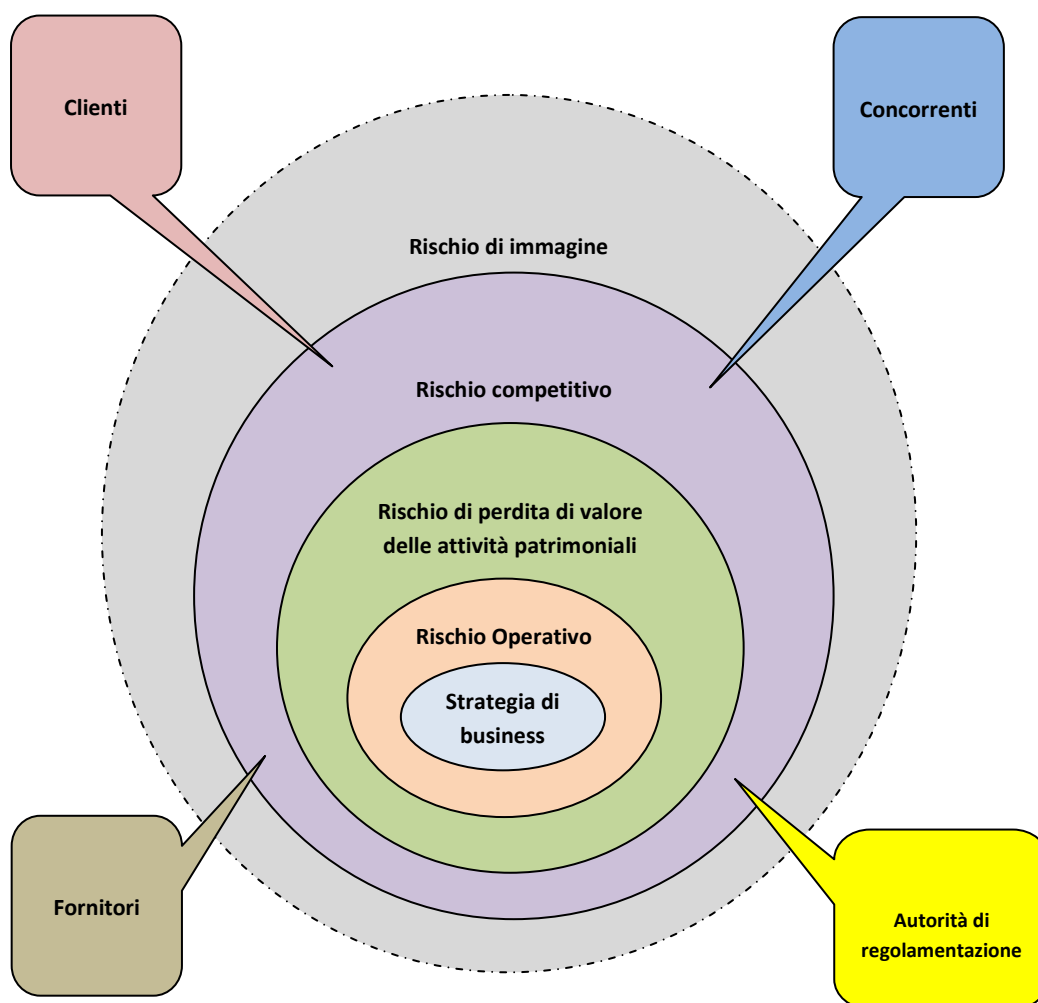


Figura 1.5 - Fonti del rischio strategico

Simons identifica quattro fonti di rischio, inevitabilmente presenti in ogni impresa:

- **Rischio operativo:** Scaturisce dalle conseguenze di un'avaria in una capacità cruciale di natura operativa, produttiva o di elaborazione. Ogni errore operativo che ostacola il flusso di prodotti o servizi può esporre l'impresa all'insorgere di perdite e di passività patrimoniali. In quasi tutte le industrie, ci sono concorrenti che scelgono consapevolmente strategie in cui la sicurezza e/o la qualità di determinati processi operativi rivestono un'importanza cruciale per il successo, e che quindi comportano un rilevante rischio operativo. Le conseguenze di un rischio operativo sono spesso innescate da errori



umani, che sono nella maggior parte dei casi involontari e/o accidentali. A volte, però, può succedere che qualcuno decida consapevolmente di prendere una scorciatoia sul tracciato della qualità o della sicurezza per raggiungere un traguardo di performance o guadagnarsi un bonus;

▪ **Il rischio di perdita di valore di un'attività patrimoniale:**

Un'attività patrimoniale è una risorsa posseduta da un'impresa per generare flussi di cassa futuri. Si dice che un'attività *perde valore* quando perde una quota significativa del suo valore corrente a causa di una diminuzione della probabilità che essa in futuro generi effettivamente quei flussi di cassa. Tale rischio deriva da [45]: *svalutazione finanziaria, perdita di valore dei diritti di proprietà intellettuale, perdita di valore per cause materiali*;

- **Rischio competitivo:** Scaturisce da cambiamenti nell'ambiente competitivo in grado di compromettere la capacità del business di creare valore e di differenziare i suoi prodotti o servizi, tra cui: iniziative intraprese dai *concorrenti* per sviluppare nuovi prodotti e servizi di qualità superiore, cambiamenti nella *normativa* e nelle politiche delle autorità pubbliche, cambiamenti nei gusti o nei desideri dei *clienti* e cambiamenti nella strategia e nella politica dei prezzi dei *fornitori*. Indipendentemente dal settore industriale, fintantoché ha concorrenti attivi e clienti esigenti, un'impresa è esposta al rischio. I manager devono costantemente porre attenzione al rischio di non riuscire ad anticipare e a reagire a questi rischi competitivi con la necessaria tempestività, lasciando così che le regole del gioco competitivo volgano a loro sfavore. I sistemi di controllo interattivi sono essenziali per monitorare i rischi competitivi in presenza di una cultura d'impresa in grado di creare barriere per ostacolare il libero flusso di informazioni in merito a minacce e opportunità emergenti;



- **Il rischio di immagine:** Si verifica quando il valore dell'intera impresa viene eroso a causa di una perdita di fiducia da parte di portatori di interessi cruciali. Il rischio di immagine si manifesta quando un problema o un insieme di problemi minaccia la vitalità dell'intera organizzazione. Insorge quando problemi o comportamenti dell'impresa influiscono negativamente sulla percezione che i clienti hanno del valore connesso all'uso dei beni o dei servizi offerti. Per ogni impresa che opera in un mercato competitivo, l'immagine è una componente cruciale della capacità effettiva di creare valore. La reputazione circa l'integrità dell'attività svolta rappresenta una risorsa competitiva critica al fine di attrarre nuovi clienti e conservarli nel tempo. Un danno all'immagine può distruggere la reputazione di un'impresa letteralmente dalla sera alla mattina. Le segnalazioni diagnostiche di eccezioni focalizzate su indicatori chiave possono allertare i manager sull'insorgere di livelli di rischio inaccettabili.

La classificazione dei rischi secondo i processi aziendali può presentarsi particolarmente utile nell'individuare e nell'analizzare il profilo di rischio collegato all'attività operativa, in modo da costruire un legame tra l'implementazione della strategia, lo svolgimento delle attività operative e i fattori di incertezza e di rischio ai quali le attività operative sono esposte.

Un'ulteriore possibile classificazione dei rischi consiste nella suddivisione dei fattori di rischio in *gestibili*, verso i quali cioè l'azienda è in grado di incidere o di limitarne/amplificarne gli effetti sulla performance (questo non vuol dire che necessariamente l'azienda attuerà un monitoraggio costante o che gestirà tali fattori) e *non gestibili*, verso i quali l'azienda assumerà un atteggiamento passivo e adotterà una strategia assicurativa.

Quest'ultimi possono essere definiti *fattori di rischio strategici* perché richiedono attività e procedure non standard per l'identificazione e un efficace monitoraggio. A fronte di rischi strategici vi sono i rischi *gestibili*:

rischi che si è in grado di identificare e monitorare e per i quali le competenze e le risorse necessarie sono già disponibili.

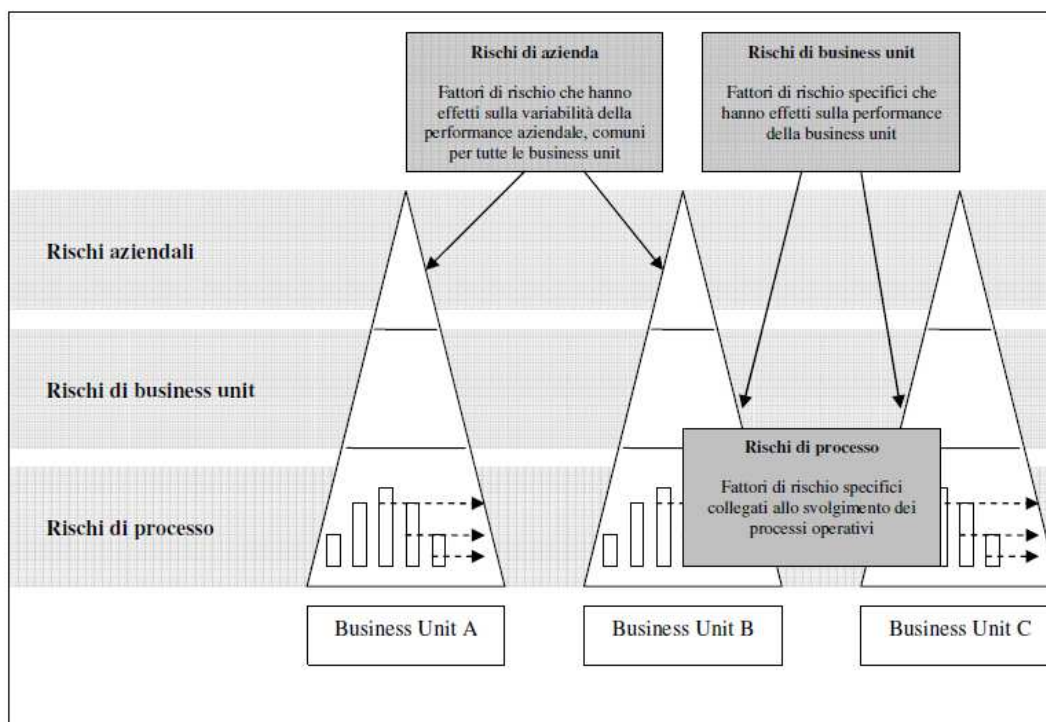


Figura 1.6 - Classificazione dei rischi

In sintesi, il ricorso ad uno schema di classificazione garantisce la standardizzazione e l'omogeneità nel processo di individuazione dei fattori di rischio in tutte le business unit e in tutti i gruppi di lavoro, in modo che relativamente a un determinato rischio si possa fare riferimento alle medesime situazioni, che alcuni tra i fattori di rischio non siano trascurati e che vi sia un «linguaggio comune» che permetta la condivisione delle cause dei rischi.

L'*apprendimento indiretto* è ciò che si verifica quando un manager assiste a un disastro o a un incidente in un'altra impresa e si rende conto che la stessa cosa potrebbe facilmente capitare anche a lui. Purtroppo, il modo più comune, ma doloroso, di prendere coscienza di un rischio (e il relativo fattore di rischio) è quello di pagarne in prima persona le conseguenze. Per



individuare il rischio strategico un attento esame dei casi di fallimento può essere molto utile.

1.9 Valutazione del rischio

Il concetto di rischio pone un severo problema applicativo all'azienda: la misurazione. La semplice variabilità è insufficiente e si rende quindi necessaria una misura più completa capace di cogliere gli effetti economici del rischio visto nella sua totalità: occorre tenere in considerazione le *cause* del rischio, ovvero quegli elementi la cui variabilità non è sotto il controllo dei singoli soggetti economici, il *nesso*, ovvero l'elemento che lega i fattori di rischio all'esposizione ad essi conseguente, le *attese*, cioè le visioni economiche (di scenario) che i soggetti hanno nel momento in cui assumono decisioni, le *tolleranze*, intese come capacità di assorbire gli effetti negativi di una particolare situazione rischiosa, e la *reattività*, intesa come la capacità di attivare un processo decisionale in tempi ridotti allo svilupparsi di una particolare condizione di rischio [34].

Le applicazioni pratico - operative che emergono dalle aziende solitamente mettono in evidenza l'insufficienza esplicativa delle tradizionali misure di dispersione adottate in campo statistico per tentare di descrivere i rischi.

Si ha motivo di ritenere che le difficoltà maggiori nella misurazione del rischio non sorgano tanto sul lato della misura della quantità del rischio (problema risolvibile con alcuni accorgimenti tecnici sulle misure), bensì su quella della qualità del rischio cioè sulla determinazione del grado di apprezzamento (avversione) al rischio dei soggetti economici.

Si tratta del problema più complesso in assoluto. Se infatti si ricorre all'ipotesi tradizionale secondo cui le aziende vengono gestite secondo il principio di neutralità al rischio, allora l'utilizzo dei valori attesi ben si adatta



allo scopo, data la completa sovrapposizione con valori degli equivalenti certi; viceversa, se si accetta il principio che anche le aziende possano essere gestite secondo diversi gradi di avversione (al limite anche negativa), l'equivalente certo tenderà a discostarsi dal valore atteso, rendendo più complessa la costruzione di una misura «monetaria» dei rischi.

Nella visione della teoria finanziaria l'avversione al rischio fa riferimento al rischio inteso come variabilità: essa è uno degli elementi che concorre a determinare il grado di utilità degli individui in quanto misura indipendente dalla natura (o fonte) dei rischi (il rischio è volatilità, l'avversione al rischio è unica) [34].

1.9.1 Avversione al rischio

Le configurazioni di *payoff* nei diversi scenari ed i rischi elementari sono le componenti che concorrono alla formazione del rischio complessivo dell'azienda; il grado di avversione al rischio è dipendente dallo scenario, dalle soluzioni adottate, dalle attese dell'impresa e dal grado di reattività che la qualifica.

Il grado di avversione al rischio che le imprese mostrano compendia quindi al proprio interno diversi gradi specifici di avversione a particolari fattispecie di rischio ed anche le interazioni dinamiche che si possono sviluppare fra esse.

Al crescere del grado di *commitment*, l'impresa risulterà maggiormente sensibile agli effetti negativi prodotti dalla causa di rischio a cui il grado di *commitment* la espone e contemporaneamente più aggressiva nell'utilizzo di tutte le leve di manovra alternative per limitarne l'impatto. Il grado di tollerabilità del rischio dipenderà peraltro dall'efficacia con cui il *commitment* avrà creato in capo all'azienda competenze per la gestione dei rischi; a fronte di un impegno finanziario, la minore presenza di competenze



precostituite, comporterà all'azienda una spesa improduttiva non allineata alle attese di remunerazione del mercato finanziario.

Così all'aumentare del *commitment*, l'avversione allo specifico rischio dapprima si riduce sfruttando al meglio e facendo proprie le competenze create dal *commitment*; successivamente l'avversione allo specifico rischio cresce progressivamente sino a divenire infinita per livelli di *commitment* incompatibili con l'ambiente esterno.

Naturalmente si pone il problema di misurare il grado di *commitment*: occorrerà utilizzare indicatori volti a sintetizzare quella parte di costi la cui variabilità risulta vincolata dal *commitment* stesso.

Occorre dunque una misura di utilità sensibile a questo aspetto ed al contempo usabile dalle imprese.

L'avversione al rischio è solitamente asimmetrica: più consistente rispetto al dispiegamento di scenari meno favorevoli e più contenuta allorquando le prospettive si fanno più rosee.

Possiamo immaginare che l'avversione al rischio risenta degli scostamenti rispetto al *budget* che l'impresa si è prefissata come obiettivo. Aumentando il divario positivo fra risultati ottenuti e *budget* si riduce l'avversione al rischio dell'impresa e viceversa.

Possiamo cioè ipotizzare che, similmente a quanto avviene per le gestioni di portafoglio contro *benchmark*, i livelli di avversione al rischio siano almeno due: l'uno relativo al rischio implicito ai risultati di *budget*, l'altro riguardante gli scostamenti dal *budget*.

1.9.2 Misure

La misura che meglio si adatta a determinare la dimensione della tollerabilità dei rischi viene espressa dalla massima perdita sostenibile dall'impresa solitamente identificata attraverso il livello del valore economico degli attivi



di bilancio sotto il quale l'impresa non è più in grado di adempiere a tutti gli impegni contrattuali assunti, richiedendo quindi per la sua sopravvivenza la soppressione di alcuni di essi ovvero tutti (*default*) [34].

La teoria della scelta in condizioni di incertezza identifica l'utilità come adeguato parametro di misurazione a supporto delle scelte in contesti rischiosi: la crescita dell'utilità è indice di una gestione più soddisfacente del rischio.

La misura è certamente corretta sotto il profilo scientifico, anche se fatica ad essere applicabile sotto un piano operativo aziendale per due ordini di motivi: l'uno di carattere metodologico, l'altro di carattere più fondamentale.

Anzitutto, c'è una oggettiva difficoltà nel trovare un metro dell'utilità applicabile agli operatori economici in generale ed alle aziende nella loro particolarità e diversità. È noto infatti che l'utilità è una misura che emerge in conseguenza di una interazione fra tre elementi di non facile determinazione: il rischio (inteso come volatilità), il rendimento atteso ed il grado di avversione al rischio [34]. Inoltre l'utilità è una misura altamente soggettiva e conseguentemente poco adatta allo svolgimento di confronti fra diversi soggetti economici e fra situazioni del medesimo soggetto economico nel tempo.

La corretta determinazione del livello di utilità a livello aziendale presuppone la costruzione di una relazione matematica assai complessa a seguito: della numerosità degli elementi che dovrebbero concorrere alla formulazione e delle peculiarità delle loro distribuzioni statistiche; dei legami che fra di essi si instaurano per natura ed in conseguenza di scelte manageriali (giacchè tali legami possono modificare il grado di rischio senza incidere sulla variabilità); della variabilità del grado di avversione al rischio al mutare delle altre componenti del rischio; soprattutto, per la formidabile capacità di reazione che le imprese dimostrano a fronte della situazione rischiosa attivando scelte e sfruttando competenze che sono loro proprie [34]. Infine, un'adeguata misura aziendale del rischio dovrebbe essere espressa con un metro



monetario omogeneo: solo così si renderebbero più semplici i confronti e le valutazioni economiche delle scelte di gestione da compiere nell'azienda.

1.9.3 Valutare gli eventi

Il management nel valutare il rischio considera la combinazione di potenziali eventi futuri, relativi all'azienda e alle sue attività nel contesto degli elementi che contribuiscono a formare il suo profilo di rischio, quali la dimensione, la complessità delle operazioni e il grado di regolamentazione del settore in cui opera. Nel valutare il rischio, il management determina gli eventi imprevisti e inattesi. Molti eventi sono routinari e si verificano con una certa frequenza (eventi possibili) e sono già considerati nei programmi operativi e nei budget, mentre altri sono inaspettati. Il management valuta il rischio di eventi potenziali inattesi e di eventi potenziali possibili che possono avere un impatto significativo sull'azienda. L'incertezza degli eventi potenziali è valutata da due prospettive: probabilità e impatto. La probabilità è definita come la possibilità che un evento accada, mentre l'impatto rappresenta il suo effetto³. Il management è consapevole che un rischio, con una bassa probabilità di accadimento e un impatto potenzialmente basso, generalmente, non merita di essere preso in considerazione. D'altra parte, un rischio con un'elevata probabilità di accadimento e con un impatto significativo richiede una considerevole attenzione, con giudizi difficili da formulare.

La “valutazione del rischio” riguarda una continua e interattiva serie di azioni che riguardano tutta l'attività aziendale.

I fattori esterni e interni determinano la tipologia degli eventi che si possono verificare e la misura in cui incidono sugli obiettivi aziendali. Sebbene alcuni fattori siano comuni a tutte le aziende che operano in un settore, tuttavia, gli

³ Altri termini di uso comune per identificare la *probabilità* e l'*impatto* sono: severità (*severity*), gravità (*seriousness*) o conseguenza (*consequence*).



eventi che si verificano spesso sono peculiari alle singole aziende, a causa degli obiettivi da esse definiti e delle scelte effettuate nel passato [15].

Misurare l'effetto che i fattori di rischio hanno sui risultati di un'azienda risulta spesso estremamente complesso. È necessario determinare la loro probabilità di accadimento e quantificarne gli effetti, *in primis*, sui fattori critici di successo e, infine, sulla performance di una business unit dell'azienda. I fattori di rischio producono effetti sui risultati aziendali in termini di variabilità della performance. A tale scopo si deve predisporre un modello in grado di individuare i fattori interni ed esterni incerti che sono rilevanti nel determinare una potenziale variazione della performance aziendale. È quindi necessario identificare una serie di relazioni che permettono di quantificare direzione e grandezza di questi impatti [4].

1.9.4 Rischio inerente e residuo

Il management considera sia il rischio inerente che il rischio residuo. Il *rischio inerente* è il rischio che un'azienda assume quando il management non attiva alcun intervento per modificarne la probabilità e l'impatto. Il *rischio residuo* è il rischio che rimane dopo che il management ha attivato una risposta al rischio. Si può fare riferimento alla massima perdita realizzabile a seguito del manifestarsi dei fattori di rischio analizzati; in questo modo si quantifica l'*impatto lordo (rischio inerente)* riconducibile a quel fattore di rischio. Il rischio inerente deve essere valutato congiuntamente alla verosimiglianza che i fattori che determinano tali eventi possano accadere (*probabilità*) e alla capacità del management di mettere in atto azioni in grado di limitare gli effetti negativi, ovvero di amplificare gli impatti positivi sulla performance aziendale. La differenza tra i benefici attesi dall'attuazione di questo piano e gli effetti complessivi che i fattori di rischio



hanno sul conseguimento degli obiettivi aziendali determina l'impatto complessivo (*impatto netto* o *rischio residuale*).

La valutazione al rischio è effettuata in primo luogo in termini di rischio inerente. Una volta che la risposta al rischio è stata attivata, il management determina il rischio residuo.

1.9.5 Orizzonte temporale

L'orizzonte temporale utilizzato per valutare il rischio deve essere coerente con l'orizzonte temporale della relativa strategia e dei relativi obiettivi. Poiché le strategie e gli obiettivi di numerose aziende riguardano, normalmente, orizzonti temporali di breve e medio periodo, il management dovrà, evidentemente, orientarsi verso i rischi posizionati di questi orizzonti temporali. Tuttavia è da considerare che alcuni aspetti della strategia e degli obiettivi riguardano anche il lungo termine. Di conseguenza, il management deve essere consapevole che i rischi possono riguardare orizzonti temporali più lunghi e non deve ometterli nelle sue valutazioni.

Nella realtà di impresa la gestione di equilibri multiperiodali (dinamici) è un fatto caratteristico. Si sostiene solitamente che all'allungarsi dell'orizzonte temporale il rischio percepito si riduca in quanto aumentando il numero di tentativi (sottoperiodi) si hanno maggiori possibilità che il rendimento finale si assesti sul valor medio della distribuzione statistica. Conseguentemente all'estendersi dell'orizzonte temporale di riferimento dovrebbe quindi ridursi il grado di avversione al rischio [42], [48]. Questa affermazione è corretta se si ipotizza preventivamente che sia definibile un orizzonte temporale preferito dal singolo e che in tale arco temporale le distribuzioni dei rendimenti entro ciascun sub - periodo siano indipendenti ed identicamente distribuite; sotto queste ipotesi il rendimento complessivo cresce infatti proporzionalmente al tempo (espresso dal numero dei periodi di durata



dell'investimento) mentre il rischio – espresso dalla deviazione standard – cresce sulla base della radice quadrata del tempo.

Il grado di esposizione al rischio al variare dell'orizzonte temporale può essere definito con certezza solamente *ex-post*. Le decisioni sono quindi assunte su ipotesi di configurazione del rischio e richiedono capacità di adattamento della struttura al mutare delle condizioni economiche. La relazione fra avversione al rischio ed orizzonte temporale è quindi dipendente da fatti contingenti legati: alle aspettative formulate dall'impresa; alla distribuzione della produzione di ricchezza fra i diversi periodi; alla reattività di cui l'impresa è dotata.

Tre indicazioni fondamentali per la relazione rischio - tempo rilevante per l'impresa [34] sono:

- ✓ a parità di durata economica degli investimenti, l'accorciamento degli orizzonti temporali di riferimento aziendale richiede un minore grado di avversione al rischio;
- ✓ a parità di orizzonte temporale aziendale, l'allungamento della durata degli investimenti richiede maggiore tolleranza (meno avversione) al rischio dell'impresa;
- ✓ a parità di orizzonti temporali aziendali e dell'investimento, la maggiore concentrazione dei flussi di cassa dei primi anni di vita consente gradi di avversione al rischio più elevati.

1.9.6 Natura dei dati

È fondamentale che le analisi siano razionali e svolte con diligenza. La stima delle probabilità e dell'impatto del rischio è spesso determinata utilizzando dati relativi a eventi già accaduti (storici), che costituiscono una base più obiettiva rispetto a stime totalmente soggettive. I dati di provenienza interna, basati sulle esperienze maturate dall'azienda, possono risultare meno



svalutati da valutazioni soggettive e forniscono, generalmente, risultati migliori rispetto ai dati di provenienza esterna (dati ISTAT, benchmark, etc.). Anche nei casi in cui i dati di provenienza interna costituiscono la fonte primaria dell'informazione, i dati esterni possono comunque risultare vantaggiosi se utilizzati per convalidare i primi e per migliorare così le analisi. Si deve prestare particolare attenzione quando si utilizzano eventi passati per prevedere gli accadimenti futuri, dato che i fattori che influenzano gli eventi possono variare nel tempo.

Nelle aziende, a differenza di quanto accade nei mercati finanziari, il recepimento di un nuovo *set* di attese è un fatto organizzativo costoso i cui tempi di realizzazione sono ben maggiori di quelli che si osservano nei mercati finanziari. Così mentre per l'analisi dei rischi in un mercato finanziario si pone solo un problema di una loro eventuale percezione distorta, a livello aziendale si pone anche un problema dei tempi con cui le aspettative sono aggiornate, spesso legata a quella dello scorrimento del *budget*. A ciò si aggiunge che la gestione dei rischi è un'attività che presupporrebbe un atteggiamento *ex-ante* alla variabilità dato che la realizzazione di un possibile risultato, rispetto ai tanti probabili ed impliciti nella distribuzione, elimina per definizione il rischio. Nella realtà delle imprese – specie quelle di più piccole dimensioni – l'atteggiamento nei confronti del rischio è invece di tipo *ex-post*: il rischio viene rilevato solamente nel momento in cui produce «danni» economici, ovvero risultati inferiori alle aspettative (solitamente fatte uguali alle previsioni di *budget* o di piano), più frequentemente quando produce perdite economiche, specie quelle in grado di mettere a repentaglio la sopravvivenza stessa dell'impresa. I manager spesso esprimono dei giudizi soggettivi sull'incertezza e nel farlo devono riconoscere i limiti insiti in questi giudizi. I risultati degli studiosi psicologi dimostrano che le persone che prendono decisioni, con vari ruoli, sono spesso eccessivamente fiduciose delle loro capacità di formulare stime corrette e non riconoscono le numerose incertezze che realmente esistono.



Questa tendenza di eccessiva fiducia nella stima delle incertezze può essere attenuata con un utilizzo efficace di dati empirici generati all'interno e all'esterno dell'azienda. In assenza di questi dati, solo la consapevolezza dell'esistenza pervasiva di tale inclinazione può mitigare gli effetti che ne potrebbero derivare.

Le tendenze nel processo decisionale si possono manifestare in un altro modo, e cioè nelle diverse scelte effettuate nel caso si persegua un guadagno e nel caso, invece, si voglia evitare una perdita. Consapevoli di queste tendenze umane, i manager possono elaborare l'informazione in modo tale da rafforzare il rischio accettabile e influire sui comportamenti. Il modo in cui l'informazione è presentata può significativamente incidere sul modo in cui essa è interpretata e i rischi o le opportunità sono considerati [15].

1.9.7 Indicatori

La misura della rischiosità che si adatta alla gestione delle aziende necessita anzitutto di indicatori facilmente utilizzabili da *tutta* la struttura aziendale e non solamente da quei dipartimenti che sono maggiormente impegnati nelle scelte di gestione dei rischi (solitamente direzione generale e finanza). Ciò in conseguenza del fatto che la multidimensionalità dei rischi rende la loro gestione un fatto non esclusivo di una funzione aziendale (in particolare della finanza) bensì un fatto diffuso nella struttura dell'azienda con conseguente esigenza di disporre di misure di facile comprensibilità oltre che di sufficiente sostenibilità scientifica. La difficoltà che le organizzazioni mostrano ad uscire dai canoni imposti dalla contabilità generale rende il tentativo di introduzione di nuovi indicatori molto complesso.

Il management utilizza spesso indicatori di performance per determinare la misura in cui un obiettivo è stato o sarà conseguito e normalmente utilizza le stesse unità di misura quando deve determinare l'impatto potenziale di un



rischio sul conseguimento di un obiettivo specifico; tale impatto è meglio determinato se si adottano le stesse unità di misura degli obiettivi a cui si riferisce.

Gli indici servono a :

- evidenziare una evoluzione e a confermare una tendenza;
- raffrontare i dati economici dell'impresa con i dati economici di altre imprese aventi la stessa mission;
- situare l'impresa nel contesto economico generale.

Gli indici devono essere utilizzati con precauzione, nella misura in cui permettono di fare il punto più che dare un giudizio. Devono essere significativi, semplici, comprensibili e poco numerosi, ma in perfetta coerenza con la struttura economica e finanziaria dell'impresa. La definizione di una misura scientificamente adeguata e contemporaneamente utilizzabile dalle aziende a supporto della gestione dei rischi è ad oggi purtroppo improponibile. La scelta di una misura adatta alla gestione dei rischi è anzitutto un problema organizzativo; essa condiziona infatti le modalità con cui le decisioni aziendali sono adottate e quindi anche il livello di rischio che qualificherà l'azienda. La selezione di un adeguato indice deve dunque rispondere sia a criteri di solidità scientifica sia a principi di specificità aziendale [14].

I rischi d'impresa frequentemente non sono normali in senso statistico, così che la loro assunzione da parte dell'impresa dipende da situazioni di contesto specifiche. Fra queste un ruolo essenziale è rappresentato dalle aspettative dell'impresa (non del mercato): l'esposizione al rischio dell'impresa andrebbe anzitutto misurata in termini di dispersione dei risultati rispetto alle attese di *budget* (legate cioè ad uno specifico scenario) e non rispetto alle attese medie.

La difesa dei risultati di *budget* è una componente organizzativa fondamentale dell'impresa in quanto permette di uniformare il comportamento delle diverse funzioni intorno ad un obiettivo comune.

1.9.8 Tecniche di valutazione

La valutazione sulle tecniche da adottare avviene sulla base delle considerazioni costi - benefici relativi all'adozione della tecnica.

Tabella 1. 1 – Tecniche di valutazione

Livello di sofisticazione	Tecnica analitica per la misurazione dei rischi
Alto (modelli matematici – probabilistici)	Analisi statistiche (modelli probabilistici) Analisi di scenario/simulazione Analisi di sensitività/simulazione
Moderato	Analisi dell'impatto/esposizione Analisi degli indicatori di rischio
Basso	Prioritizzazione qualitativa dei rischi Individual quantitative self assessment Assessment soggettivo e personale

In linea più generale, a mano a mano che si procede verso tecniche maggiormente sofisticate per la misurazione dei rischi, l'obiettivo diviene quello di produrre un assessment che vada oltre la semplice rappresentazione qualitativa e che permetta di stimare la grandezza del potenziale impatto sulle variabili economiche - finanziarie.

È poi naturale ritenere che quanto più la tecnica adottata sia semplice, tanto più sia facilitata la sua comprensione e diffusione all'interno dell'azienda; ciò comporta una più ampia condivisione dei risultati ottenuti [11].

La metodologia di valutazione del rischio aziendale si articola in una varietà di tecniche qualitative e quantitative. Il management utilizza spesso le tecniche qualitative quando la tipologia dei rischi da valutare non si presta a essere quantificata, oppure quando sono necessari un certo numero di dati affidabili, per una valida quantificazione, che risultano indisponibili, oppure la ricerca e l'analisi dei dati risulta molto onerosa. Le tecniche quantitative solitamente sono più precise e sono impiegate in attività più complesse e sofisticate a integrazione delle tecniche qualitative [15].



Un'azienda non ha bisogno di utilizzare tecniche di valutazione omogenee in tutte le sue unità operative. Piuttosto, la scelta delle tecniche deve tener conto dell'effettiva necessità di ottenere misurazioni precise e della cultura prevalente nelle unità operative valutate.

Fissando termini omogenei per quanto concerne la probabilità e l'impatto a livello aziendale e categorie omogenee di rischio per le misurazioni qualitative, si facilita oltremodo la valutazione del rischio aziendale.

Quando gli eventi potenziali non sono correlati tra loro, il management deve valutarli distintamente. Ma quando le correlazioni tra eventi esistono, oppure gli eventi si combinano e interagiscono tra di loro, il management dovrà valutarli tutti assieme. Mentre l'impatto di un singolo evento potrebbe essere irrilevante, l'impatto di una sequenza o di un aggregato di eventi potrebbe essere significativo.

Tra i diversi approcci per la valutazione e stima della distribuzione di probabilità non ne esiste uno dominante che possa essere utilizzato in modo indifferenziato in relazione a tutti i fattori di rischio che l'azienda si trova ad affrontare.

In linea generale si fa riferimento a metodi riconducibili a [11]:

- metodi «soggettivi»: la stima della distribuzione di probabilità dei fattori di rischio è fondata principalmente sulle valutazioni di esperti e del management:
 - ✓ identificazione soggettiva diretta della probabilità di accadimento;
 - ✓ metodo Delphi;
- metodi «statistici»: la modellizzazione viene condotta utilizzando metodi statistici, ed è fondata sulla disponibilità di dati storici:
 - ✓ l'analisi dei dati;
 - ✓ stime empiriche fondate su serie storiche di dati oppure, ipotizzata una forma per la distribuzione di probabilità, utilizzo dei dati per stimarne i parametri;



- ✓ analisi di regressione per determinare il valore dei fattori di rischio;
- ✓ metodi «statistico - econometrici»;
- ✓ simulazione stocastica;
- ✓ diagrammi d'influenza;
- ✓ modelli bayesiani.

Le tecniche quantitative di valutazione, generalmente, richiedono un più elevato livello di applicazione e di rigore. La validità di queste tecniche dipende fortemente dalla qualità dei dati di supporto e dalle assunzioni di base. Queste tecniche sono particolarmente adatte per i rischi che si sono già manifestati nel passato, che hanno una frequenza di variabilità e che consentono di formulare previsioni attendibili.

Le aziende non hanno a disposizione una serie di dati relativi ai rischi di business che permettano di stimare l'accadimento degli eventi utilizzando un approccio frequentista. Il probabile verificarsi degli eventi viene stimato facendo ricorso alla valutazione dei singoli soggetti. Questa stima, ovviamente, risente della sfera di esperienze del decisore aziendale e delle sue conoscenze riassumibili nella pratica accumulata nel tempo.

Nella valutazione soggettiva della probabilità si deve però tenere in considerazione una serie di «distorsioni» nel comportamento cognitivo e valutativo dei soggetti, in particolare dalla loro conoscenza degli eventi potenziali e dalle dinamiche e dal contesto in cui la valutazione è effettuata.

In relazione a possibili risultati positivi i soggetti decisori si comportano in modo avverso al rischio, mentre nel caso in cui si trovino di fronte a perdite possibili sono propensi ad accettare i rischi.

Nella valutazione dell'accadimento di eventi futuri, due sono tipicamente le euristiche adottate. La prima è chiamata *euristica della probabilità* ed è utilizzata allo scopo di fornire una stima della probabilità di accadimento di eventi futuri: questa logica si fonda sull'esperienza relativa all'accadimento di tali eventi in passato. La seconda euristica è chiamata *euristica*



dell'ancoraggio: essa si fonda su pregiudizi che hanno un peso rilevante nel determinare il processo valutativo e decisionale di un soggetto [11].

Il metodo statistico porta a una stima puntuale (la media della distribuzione), mentre *la valutazione soggettiva permette di ottenere la dispersione attorno alla media* (la varianza, l'asimmetria e la concentrazione della distribuzione). Il metodo frequentista non ha vita propria se non accompagnato da una valutazione soggettiva, differente in ogni azienda.

Ad esempio la relazione fra utilità e livello di rischio è la seguente:

$$U = E(R) - A\sigma^2 \quad (1.1)$$

dove:

$E(R)$: valore atteso dei rendimenti (*valutazione statistica*);

σ^2 : varianza dei rendimenti;

A : grado di avversione al rischio (*valutazione soggettiva*).

L'utilità è quindi misurata in termini di equivalente certo dei rendimenti: con σ nullo, $E(R)$ è pari a U ; con σ positivo, U indica il livello di rendimento privo di rischio capace di produrre la stessa soddisfazione delle altre combinazioni rendimento - rischio che soddisfano l'equazione. L'efficacia di questa misura è legata alla vigenza del *teorema di separazione di Tobin* (1958), quindi alla rilevanza del solo rischio sistematico.

L'attenzione accademica e degli operatori è stata rivolta al problema di come le aziende possono sostituire i sistemi di misurazione delle performance centrati su linguaggio economico - finanziario con altri che riflettano i cambiamenti nel sistema competitivo e nei fattori critici di successo.

L'obiettivo è la modellizzazione delle relazioni che intercorrono tra fattori di rischio e impatto sulla performance.

L'utilizzo di modelli multidimensionali offre in modo esplicito un bilanciamento tra indicatori economico - finanziari e misure non economico - finanziarie e, all'interno di quest'ultime, la compresenza di differenti prospettive di analisi; c'è una maggiore attenzione verso l'identificazione



delle relazioni tra fattori critici di successo di un modello di business e la performance economica - finanziaria [11].

Questi sistemi di misurazione della performance si fondano quindi sulla ricerca di una serie di relazioni di varia natura che presentano connessioni osservate o ritenute plausibili di causa ed effetto.

Il processo ha origine dall'osservazione empirica e conduce alla concettualizzazione e all'astrazione dei momenti di apprendimento delle dinamiche aziendali. Il primo passo della modellizzazione consiste nella scelta degli indicatori di performance che rappresentano gli obiettivi aziendali. Nella modellizzazione delle relazioni rischio - misure di performance, un elemento critico riguarda il numero di livelli di variabili intercorrenti e di fattori di rischio che devono essere considerati nel modello di analisi. Nella costruzione del modello ogni fattore di rischio per il quale si è ritenuto necessario procedere a una modellizzazione stocastica viene associato a una possibile distribuzione e vengono determinate (stimate) le correlazioni tra i differenti fattori di rischio. Il passo successivo ha l'obiettivo di costruire un legame tra le distribuzioni dei fattori di rischio e la misura di performance, che la maggior parte delle volte è finanziaria.

Il modello economico - finanziario può quindi essere utilizzato per misurare la quantità di performance «a rischio», cioè quanta parte dei risultati conseguibili si presentano come incerti a seguito della manifestazione di eventi futuri, e per analizzare l'impatto delle decisioni di risk management nella performance utilizzando la tecnica di costruzione di scenari *what – if* [11].

L'obiettivo è quindi quantificare il cambiamento in alcuni fattori critici di successo all'interno di differenti scenari [7].

Si procede non solo all'individuazione dei fattori di rischio ma si cerca anche di tradurre in termini quantitativi l'effetto che la manifestazione del fattore di rischio ha sulla performance aziendale.

1.9.8.1 Tecniche qualitative

L'applicazione di tecniche qualitative conduce alla costruzione di uno degli strumenti più efficaci e diffusi nell'ambito del risk assessment: *le mappe dei rischi*.

In sostanza, al singolo soggetto o al team che ha proceduto all'assessment viene richiesto di descrivere l'intensità dell'impatto utilizzando una scala di attributi come *nullo, molto basso, basso, medio, alto, molto alto*. Per l'analisi degli impatti sulla performance è necessario che l'orizzonte temporale di riferimento sia definito *a priori* in modo chiaro e non venga modificato durante il processo di assessment.

Per ottenere consensi sulla probabilità e l'impatto, che sono stati determinati impiegando tecniche di valutazione qualitative, le aziende possono adottare lo stesso approccio impiegato per identificare gli eventi, e cioè le interviste e i workshop. Un processo di auto - valutazione del rischio indirizza l'attenzione ai partecipanti sulla probabilità e sull'impatto degli eventi futuri, adottando scale sia descrittive sia numeriche.

Con riferimento ai business risk, quella dei fattori di rischio è sempre una probabilità soggettiva e i fattori di rischio vengono classificati secondo la probabilità associata a ognuno di questi. La scala adottata per la definizione delle categorie di probabilità all'interno delle quali classificare i fattori di rischio è la stessa di quella impiegata per la classificazione degli impatti, in modo da avere una completa coerenza tra le due dimensioni esaminate e poter costruire matrici per l'analisi congiunta impatto - probabilità.

La costruzione della scala degli impatti segue fondamentalmente due logiche: la prima riguarda la semplice valutazione dell'effetto sulla misura di performance a prescindere dal segno di questo impatto, mentre la seconda rappresenta non solo l'intensità ma anche il segno dell'impatto secondo la seguente scala: *molto negativo, negativo, nullo, positivo, molto positivo*.

Il problema più delicato nella costruzione delle mappe dei rischi riguarda il raggiungimento di una certa omogeneità nella formazione delle classi tra i differenti gruppi di lavoro.

Partendo da queste valutazioni qualitative sulla probabilità e sugli impatti si conduce una conversione dalle valutazioni sulla probabilità alla definizione di intervalli di probabilità, e dalla valutazione degli impatti alla stima della variazione dei kpi.

Tabella 1. 2 – Tabella di conversione valutazioni qualitative – giudizi quantitativi

Probabilità		Impatto		
Scala	Stima	KPI (percentuale di ritardo)	Impatto percentuale sulla performance (incremento dei costi)	Performance
Nulla	0	0	0	Nessuno
Molto Basso	0-0,1	<10%	<5	Non viene raggiunto un obiettivo minore
Basso	0,1-0,2	10%-30%	5-10	Non viene raggiunto più di un obiettivo minore
Medio	0,2-0,3	30%-35%	10-15	Diminuzione nel raggiungimento degli obiettivi
Alto	0,3-0,4	35%-55%	15-30	Significativa diminuzione nel raggiungimento degli obiettivi
Molto Alto	0,4-0,5	>55%	>30	Generale impossibilità di raggiungere gli obiettivi

La determinazione dei valori soglia (*cut off*) che ripartiscono i rischi nelle differenti categorie a seconda del livello di esposizione (elevata, media, bassa) dipende principalmente dal livello di propensione alla gestione dei rischi presente nella business unit.

Con riferimento ai diversi livelli di esposizione, l'esposizione bassa viene associata a una zona di rischio ridotta: i fattori di rischio classificati in questa zona non sono significativi e quindi è possibile porre nei confronti di questi una minore attenzione. È però opportuno che il monitoraggio di questi



fattori di rischio sia ugualmente condotto perché le variabili causa dei fattori classificati in quest'area si possono modificare in termini sia di probabilità sia di impatto.

All'opposto vi è l'esposizione elevata; i fattori di rischio classificati in questa zona possono minare la sopravvivenza stessa dell'azienda in quanto nessun business può sopravvivere accettando nel lungo termine un insieme di rischi di tale criticità. Di conseguenza, il management deve gestirli mediante il ricorso a specifiche strategie e piani di azione.

I fattori di rischio con una esposizione media possono essere conseguenza del fatto che tali fattori hanno una probabilità elevata ma si presentano di impatto limitato oppure, viceversa, hanno un impatto rilevante ma sono poco probabili. Questi fattori di rischio, sebbene non critici come quelli menzionati precedentemente, richiedono particolare attenzione.

La mappatura dei rischi è utilizzata in molti modi, a motivo della sua versatilità. In relazione agli oggetti di analisi, la mappa dei rischi può riferirsi alle singole unità organizzative (in una logica funzionale), alle singole attività o processi, agli specifici kpi che possono a loro volta diventare dei risk performance indicator.

Il riferimento alla mappa dei rischi permette al management di focalizzare l'attenzione sui rischi che rilevano caratteristiche critiche in termini di valutazione congiunta probabilità - impatto e che, analizzate separatamente, si presentano come molto probabili o con un impatto elevato sulla performance.

Da un lato troviamo fattori di rischio relativi a eventi che hanno una bassa probabilità di manifestazione, ma il cui impatto sui risultati aziendali è rilevante. Questi fattori sono principalmente di natura esterna, il cui controllo non è solitamente realizzabile da parte del management [19]. Questo è il motivo per cui il *contingency planning* assume una particolare rilevanza nella gestione di questi fattori di rischio. In sostanza, si definiscono *a priori* degli scenari in relazione alla manifestazione dei fattori rischiosi (sulla base



appunto del processo di risk assessment), si individuano le azioni e gli impatti attesi e, infine, le unità organizzative e i soggetti che hanno la responsabilità dell'esecuzione delle azioni individuate.

Dall'altro lato, i fattori di rischio di impatto limitato ma con una probabilità elevata si riferiscono alle attività *day to day*. Se non vengono gestiti, l'impatto aggregato di tali eventi rischiosi, in particolar modo se questi non sono sporadici e isolati, data l'alta probabilità di accadimento, può compromettere lo svolgimento delle attività secondo i criteri di efficienza e di efficacia, oppure determinare il mancato rispetto di norme che regolano il funzionamento del business.

In sintesi, la congiunta analisi qualitativa o semiquantitativa d'impatto e probabilità permette di [11]:

- ✓ focalizzare l'attenzione del management solamente sui rischi più importanti e sulla loro misura mediante tecniche rigorose;
- ✓ supportare lo sviluppo di strategie per la gestione dei rischi;
- ✓ allineare gli obiettivi di business con la gestione dei rischi aziendali;
- ✓ ridurre il pericolo che i rischi ovvero le opportunità significative per l'azienda non siano posti in evidenza;
- ✓ individuare sinergie relativamente alla condivisione di *best practices* per la gestione dei rischi che sono comuni a business unit e processi;
- ✓ produrre uno strumento in grado di aggregare i rischi tra le singole business unit dell'azienda.

1.9.8.2 Tecniche quantitative

Si possono adottare tecniche quantitative quando sono disponibili sufficienti informazioni per stimare la probabilità e l'impatto del rischio usando modelli di misurazione. I metodi quantitativi utilizzano tecniche probabilistiche, non probabilistiche e di benchmarking. Una delle sfide per l'utilizzo di queste tecniche è di ricorrere a fonti affidabili di dati [15].



- *Benchmarking*: è un processo basato sulla collaborazione di un gruppo di aziende. È indirizzato su eventi specifici o processi; compara misure e risultati utilizzando criteri di quantificazione omogenei e identifica opportunità di miglioramento. Alcune società utilizzano il benchmarking per valutare la probabilità e l'impatto di eventi potenziali nel settore di appartenenza. I dati di benchmarking possono fornire al management informazioni approfondite sulla probabilità e l'impatto dei rischi basate sull'esperienza di altre organizzazioni. Il benchmarking è anche impiegato per l'esame di un processo operativo al fine di identificare opportunità di miglioramento del processo medesimo. Le tecniche di benchmarking si articolano in : *interne, concorrenziali/settoriali, best in class*.
- *Modelli probabilistici*: i modelli probabilistici aggregano una serie di eventi e l'impatto conseguente con la probabilità che questi eventi accadono sulla base di certe ipotesi. La probabilità e l'impatto sono valutati sulla base dei dati storici o dei risultati, frutto di una simulazione, che riflettono ipotesi di comportamento o tendenze future. I modelli probabilistici si possono utilizzare con diversi orizzonti temporali per stimare i risultati e si possono anche usare per valutare i risultati attesi o medi o, di contro, impatti attesi o fortemente rilevanti. Le tecniche probabilistiche riguardano i modelli *at risk* (tra cui: *value at risk, cash flow at risk ed earnings at risk*), valutazione degli eventi di perdita e *back-testing*.
- *Modelli non probabilistici*: i modelli non probabilistici adottano ipotesi soggettive per la stima dell'impatto degli eventi senza quantificarne la probabilità. La valutazione dell'impatto degli eventi si basa su dati storici o simulati e su ipotesi di tendenze future. Di conseguenza, queste tecniche richiedono che il management determini, se lo ritiene necessario, la probabilità di accadimento separatamente.



Le tecniche non probabilistiche comunemente usate sono: *sensitivity analysis, scenario analysis e stress testing*.

1.9.8.3 Modellizzazione formale e tecniche di simulazione

Le tecniche disponibili sono diverse: dall'analisi di sensitività all'analisi di scenario, fino ai modelli probabilistici. Il filo conduttore che lega queste differenti tecniche è la modellizzazione formale e la metodologia della simulazione. Tramite la modellizzazione formale vengono trasformate in relazioni matematiche – statistiche le relazioni causali intercorrenti tra fattori di rischio, fattori critici di successo e kpi. La simulazione, dal punto di vista metodologico, studia il comportamento di un sistema reale attraverso la conoscenza del modello che lo rappresenta e, operativamente, si raffigura come un metodo attraverso cui si conducono esperienze o prove su un modello per studiare, nella dimensione spazio - temporale, le condizioni di stato e di movimento del sistema reale [11]. La simulazione infatti assume un ruolo centrale in campo aziendale in quanto permette di giungere alla formulazione di previsioni intorno agli andamenti futuri della stessa. Essa comporta la formulazione del modello della realtà che si vuole conoscere [25].

Dopo aver costruito il reticolo delle parti componenti il modello, aver stabilito i legami più significativi tra le diverse variabili e aver ottenuto un quadro chiaro di quali variabili trattare come aleatorie e di quali tenere come deterministiche, si procede con l'individuazione, per le variabili aleatorie di input, delle probabilità e dei campi di variazione. Successivamente si identifica il legame delle relazioni tra i fattori di input e misure di risultato. I fattori di rischio vengono espressi secondo le differenti unità di misura relative alle dimensioni operative a cui fanno riferimento, mentre le misure di risultato sono espresse con una metrica finanziaria, tipicamente i flussi di cassa o il risultato operativo.



Una volta individuato il sistema di relazioni che costituisce l'architettura del modello, gli esperimenti di simulazione consistono nella conduzione di simulazioni non soltanto tramite l'estrazione di numeri casuali o pseudocasuali per ottenere scenari alternativi, ma anche mediante lo sviluppo di particolari analisi come le analisi di sensitività (*sensitivity analysis*) e di scenario (*scenario analysis*).

Le analisi di *sensitività* sono finalizzate alla determinazione dell'impatto sul sistema di valori della modificazione di alcuni fattori di rischio considerati singolarmente o congiuntamente in modo da poter valutare la sensitività (o, in termini economici, l'elasticità) della performance in relazione al manifestarsi di alcuni fattori di rischio. Tipicamente si parla di analisi di sensitività quando i fattori di rischio si riferiscono a rischi interni.

L'analisi di *scenario* si fonda sulla medesima logica dell'analisi di sensitività; ciò che cambia sono i fattori di rischio considerati. In questo secondo caso, i fattori di rischio sono relativi alle dinamiche macroeconomiche o finanziarie oppure, in modo più specifico, al settore o al sistema competitivo, fattori sui quali l'azienda può incidere in modo molto limitato o addirittura nullo.

Sugli scenari ottenuti si applica una serie di simulazioni *what - if* in modo da individuare il *worst* o il *downside case* e la performance a rischio a causa della manifestazione di alcuni eventi o di alcune decisioni [11].

Viene misurata la massima perdita attesa, in relazione a un dato indicatore di performance in seguito alla realizzazione dello scenario più sfavorevole, o al contrario, il maggior incremento possibile in relazione allo scenario più favorevole.

I risultati possono far riferimento alla variabilità di cash flow in funzione dell'incertezza dei fattori di rischio senza tenere conto delle strategie e delle azioni individuate per la difesa e la copertura di tali fattori o per sfruttare ulteriormente l'incertezza connessa a tali fattori di rischio, oppure tenendone conto. In questo secondo caso le strategie che possono essere finalizzate alla difesa nei confronti dei rischi, non si limitano a strumenti assicurativi o



finanziari; le strategie per la copertura - sfruttamento dei rischi costituiscono un insieme di scelte - opportunità di investimento, ognuna delle quali avrà un costo e un rendimento che è determinato dal miglioramento atteso della performance.

Il processo di risk assessment si può dire concluso solamente quando si sono identificati i fattori di rischio rilevanti da monitorare e gestire e quando le responsabilità di monitoraggio e gestione sono state attribuite alle unità organizzative oppure a specifici ruoli, come il project manager o il process owner, che operano trasversalmente rispetto alle funzioni aziendali.

In un'azienda strutturata per processi, questa fase di risk assessment è favorita, in quanto si ha un controllo maggiore e migliore dell'attività svolta; l'obiettivo finale è la soddisfazione del cliente così tutte le fasi funzionali del processo sono in perfetta comunione tra loro, i quali possono assegnare un peso comune per i rischi identificati, dovuto allo stesso impatto percepito che un eventuale rischio può causare.

In un'azienda strutturata per funzioni questo può risultare più difficile, se l'attività di risk assessment non viene gestita da un ufficio trasversale, in quanto ogni funzione (centro di costo) ha i propri obiettivi e raramente sono orientati a guardare gli scopi e gli obiettivi dell'azienda (se non in parte); la sua specificità e la sua specializzazione rende difficile una omogeneità culturale e terminologica dei rischi. Ogni funzione ha i propri obiettivi, e questo è proprio il motivo basilare per il quale si cerca di creare un processo di risk management integrato, trasversale alle diverse funzioni aziendali.



BIBLIOGRAFIA CAPITOLO I

- [1] Lehar, *Measuring Systemic Risk: A Risk Management Approach*, Journal of Banking and Finance, 29, 2577-2603, 2005.
- [2] A. Pinto, I.L. Nunes e R.A. Riberio, *Occupational Risk Assessment in construction industry- Overview and reflection*, Safety Science, 49, 616-624, 2011.
- [3] Beretta S., *Valutazione dei rischi e controllo interno*, Università Bocconi Editore, 2004, Milano.
- [4] Beretta S., *Control & Risk Self Assessment: lineamenti metodologici ed analisi di best practice*, CESAD, 2004, Milano.
- [5] Bernstein P., *Against the Gods. The remarkable story of risk*, John Wiley & Sons, 1998, New York.
- [6] Bernstein P., *Più forti degli dei. La straordinaria storia del rischio*, Il Sole 24 Ore, 2002, Milano.
- [7] Bertesche D., Carwford C., Macadam S., «Is Simulation better than Experience?», *The McKinsey Quarterly*, 1996.
- [8] Bertini U., *Introduzione allo studio dei rischi nell'economia aziendale*, Giappichelli, 1987, Torino.
- [9] Borghesi A., *La gestione dei rischi d'azienda*, CEDAM, 1985, Padova.
- [10] Bozzolan S., *Bilancio e valore – metodi e tecniche di simulazione*, McGraw-Hill, 2001, Milano.
- [11] Bozzolan S., *Risk Assessment*, in *Valutazione dei rischi e controllo interno* (a cura di Beretta S.), Università Bocconi Editore, 2004, Milano.
- [12] Cattaneo M., *Economia delle aziende di produzione*, EtasLibri, 1993, Milano.
- [13] Chessa F., *La classificazione dei rischi e il rischio d'impresa*, 1927, Roma.
- [14] Copeland, Weston, *Financial theory and corporate policy*, Addison-Wesley publishing Company, 1988.
- [15] CoSO (Committee of Sponsoring Organizations of the Treadway Commission), *La gestione del rischio aziendale*, Il Sole 24 ore, 2006, Milano.
- [16] C.T. Smit Sibinga, *Risk Management: an important tool to improving quality*, Transfus Cli Biol, 8, 214-217, 2001.
- [17] D. Hillison, *Risk Management: Best Practice and Future Developments*, II Congreso Nacional de Gerencia de Proyectos, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima Perú, 24-25 ottobre 2003.
- [18] De Finetti B., *Foresight: Its Logical Laws, Its Subjectives Sources*, 1980.
- [19] DeLoach J.W., *Enterprise-Wide Risk Management*, Financial Times-Prentice Hall, 2000, Londra.
- [20] Dey P.K., *Decision support system for risk management: a case study*, Management Science, 30(8), pp 634-649, 2001.
- [21] Dezzani F., *Rischi e politiche d'impresa*, Giuffrè, Milano, 1971.
- [22] Dickinson G., *Enterprise Risk Management: its origins and conceptual foundation*, The Geneva Papers on Risk and Insurance, 26 (3), 2001.
- [23] Fayol H., *Administration industrielle ed générale*, Dunod, 1931, Parigi Risk Management & Assessment.
- [24] F. Fagotto, «Simulazione e modello del bilancio d'esercizio», in Brunetti G., Coda V., Fagotto F., *Analisi, previsioni, simulazioni economico-finanziarie d'impresa*, Etas, 1990, Milano.
- [25] F. Favotto, *Le nuove frontiere del controllo di gestione. Valore, processi e tecnologie*, McGraw-Hill, 2006, Milano.
- [26] Ferrero G., *Istituzioni di economia d'azienda*, Giuffrè, Milano, 1968.
- [27] Ferrero G., *Impresa e management*, Giuffrè, 1987, Milano.
- [28] Floreani A., *Introduzione al risk management: un approccio integrato alla gestione dei rischi aziendali*, ETAS, 2003, Milano.
- [29] Frost C, Allen D., Porter J., Bloodworth P., *Operational Risk and Resilience*, Butterworth Heinemann, 2001, Oxford.
- [30] Gahin F.S., *A theory of Pure Risk Management in the Business Firm*, The Journal of Risk and Insurance. 34 (1), pp 121-129, 1967.
- [31] G.H. Eduljee, *Trends in risk assessment and risk management*, The Science of the Total Environment, 249, 13-23, 2000.
- [32] Knight F. H., *Risk, Uncertainty and Profit*, Harper and Row, 1965, New York.
- [33] Koller, *Risk assessment and decision making in business and industry*, 1999.



- [34] Mantovani G.M., *Rischio e valore dell'impresa: l'approccio contingent claim della finanza aziendale*, EGEA, 1998, Milano.
- [35] McNamee D., Selim G., *Risk Management: Changing the Internal Auditor's Paradigm*, Altamonte Springs, Institute of Internal Auditors Research Foundation, 1998.
- [36] Meulbroek L. K., *Integrated Risk Management for the Firm: A Senior Manager's Guide*, Working, 2002.
- [37] Miller K.D., A Framework for Integrated Risk Management in International Business, *Journal of International Business Studies*, 23(2), pp 311-331, 1992.
- [38] Misani N., *Introduzione al risk management*, EGEA, 1994.
- [39] Oberparleiter K., *"Die Funktionen und Risiken des Warenhandels"*, 1955.
- [40] P.M. Arezes and A.S. Miguel, *Risk perception and Safety behavior: A study in an occupational environment*, *Safety Science*, 46, 900-907, 2008.
- [41] Sassi S., *Il sistema dei rischi d'impresa*, Vallardi, 1940, Milano
- [42] Sharpe W.F., *The Sharpe ratio*, «The Journal of Portfolio Management», Fall 1994
- [43] Shimpi P.A., *Integrating Corporate Risk Management*, Texere, 2001, New York
- [44] Simons R., *La gestione delle performance aziendale: ruoli, responsabilità e meccanismi di controllo*, Egea, 2005, Milano.
- [45] Simons R., *Sistemi di controllo e misure di performance*, Egea, 2004, Milano.
- [46] S.O. Cheung, P.S.P. Wong and A.W.Y. Wu, *Towards an organizational culture framework in construction*, *International Journal of Project Management*, 29, 33-44, 2011.
- [47] Thevendran V., Mawdesley M.J., *Perception of human risk factors in construction projects: an exploratory analysis*, *International Journal of Project Management*, 22, pp 131-137, 2004.
- [48] Thorley S.R., *The time-diversification controversy*, «Financial Analyst Journal», 1995.
- [49] Tobin J., *Liquidity preference as behavior toward risk*, «Review of economic studies», febbraio 1958.
- [50] T. Raz and D. Hillson, *A Comparative Review of Risk Management Standards*, *Risk Management: An International Journal*, 7, 55-66, 2005.
- [51] Urcioli V., Cresca G., *Risk management: strategie e processi decisionali nella gestione dei rischi puri d'impresa*, ISBA, 1989, Rovereto.
- [52] Von Neumann J., Morgenstern O., *Theory of games and Economic Behaviour*, Princeton University Press, 1996, Princeton.
- [53] W. van Vuuren, *Cultural Influences on Risks and Risk Management: Six Case Studies*, *Safety Science*, 34, 31-45, 2000.
- [54] Andrea Pistore, *Risk Management & Assessment*, 2008.



SITOGRAFIA CAPITOLO I

- {1} www.coso.org
- {2} www.crf.it
- {3} www.csqa.it
- {4} www.datasecurity.it
- {5} www.digitalcontent.it
- {6} www.dnb.com
- {7} www.eurochlor.org
- {8} www.fairisaac.com
- {9} www.gampitalia.it
- {10} www.ilsole24ore.com
- {11} www.ineng.it
- {12} www.isacaroma.it
- {13} www.linea.it
- {14} www.mrprofit.it
- {15} www.protiviti.it
- {16} www.risk.net
- {17} www.sap.com
- {18} www.sas.com
- {19} www.sciencedirect.com
- {20} www.scholar.google.it
- {21} www.biblio.unina.it
- {22} www.springerlink.com
- {23} www.sirelib.unina.it
- {24} www.ieee.org
- {25} www.elsevier.com
- {26} www.jstor.org
- {27} www.sincert.it
- {28} www.sybase.com
- {29} www.sqs.ch
- {30} www.telecomitalia.it
- {31} www.tssconsulting.it
- {32} www.uni.com
- {33} www.zerounoweb.it
- {34} <http://euro.asphi.it>
- {35} <http://it.wikipedia.org/>



CAPITOLO II

SAFETY RISK MANAGEMENT

Premessa

I rischi per i lavoratori presenti all'interno dei luoghi di lavoro possono essere ridotti o eliminati attraverso la gestione della sicurezza, nota meglio come Safety Risk Management.

Il Safety Risk Management differisce a seconda delle tipologie di attività, strutture organizzative e tecnologia di utilizzo, e in generale può essere definito come l'insieme delle persone, risorse, politiche e procedure che collaborano tra di loro per ridurre il più possibile i danni o le perdite nei luoghi di lavoro.

Nel presente capitolo, proseguendo nell'approccio di tipo top – down adottato nel lavoro di tesi, verrà analizzato tale argomento in tutti i suoi aspetti, da quelli normativi a quelli operativi. In particolare alcuni concetti accennati nel Capitolo I verranno ripresi e particolarizzati al caso della Sicurezza sul Lavoro.



2.1 Introduzione

La *sicurezza sul lavoro*, oltre che un bene primario, un'esigenza imprescindibile, è anche un *diritto* di ogni lavoratore. Di conseguenza, il conseguimento di soddisfacenti livelli di sicurezza deve essere posto alla base di qualunque attività lavorativa.

In realtà, il problema della sicurezza sul lavoro, storicamente, è stato sempre posto in secondo piano o comunque subordinato a valutazioni di carattere economico ed inquadrato in una sterile analisi costi/benefici. Ciò accadeva in particolare tra gli anni '50 e '70, quando il modello fordista di organizzazione del lavoro, ponendosi obiettivi primari in termini di efficienza e di produttività, trascurava il problema della sicurezza e lo inquadrava comunque in un più ampio processo di conseguimento di questi obiettivi. Il concetto stesso di sicurezza non aveva quindi al centro l'uomo, ma la regolarità e quindi l'efficienza dei sistemi (all'epoca per lo più "linee") di produzione.

Fu solo a partire dagli anni '70 che, con l'affermarsi di modelli di produzione che avessero al centro obiettivi in termini di flessibilità e qualità, piuttosto che di produttività, nei lavoratori cominciò ad affermarsi una maggiore consapevolezza dell'importanza del proprio lavoro. Le rivendicazioni sindacali cominciarono così a riguardare, prima ancora che aspetti economici e salariali, i problemi della salute e della sicurezza sui luoghi di lavoro. I concetti stessi di salute e sicurezza subirono profonde evoluzioni: al senso negativo di salute, intesa come assenza di patologie, subentrò un significato positivo consistente nel benessere fisico, psichico e sociale dei lavoratori. La sicurezza dei luoghi di lavoro, dal canto suo, perse quella connotazione tecnico - economica che le era stata attribuita dal modello fordista, assumendo il significato di condizione fondamentale per preservare la salute dei lavoratori.

Nella sua accezione attuale la sicurezza sul luogo di lavoro consiste in tutta quella serie di misure di prevenzione e protezione che devono essere adottate



dal datore di lavoro, dai suoi collaboratori, dal medico competente e dai lavoratori stessi per migliorare le condizioni di lavoro e ridurre la possibilità di infortuni. In Italia la salute e la sicurezza sul lavoro sono regolamentate dal D.Lgs. 81/08 (Testo Unico sulla sicurezza sul lavoro) entrato in vigore il 15 Maggio 2008 e dalle relative disposizioni correttive. Al fine di garantire il raggiungimento degli obiettivi di salute e sicurezza ed il loro continuo miglioramento le imprese e le organizzazioni adottano un sistema organizzativo (SGSL) che opera sulla base della sequenza ciclica delle fasi di pianificazione – attuazione – monitoraggio – riesame del sistema per mezzo di un processo dinamico. Non esiste, ovviamente, un modello di SGSL universale ma è l'organizzazione stessa che tramite consultazione e partecipazione dei lavoratori e dei loro rappresentanti per la sicurezza decide quali sono le misure più idonee da adottare.

2.2 Il concetto di rischio

Come hanno acutamente osservato E. Chiodo e G. Mazzanti in un recente articolo [1] pubblicato sulla rivista “Manutenzione Tecnica e Management”, “La definizione di rischio è complicata da una certa ambiguità semantica presente nel nostro linguaggio quotidiano: ad esempio, spesso il termine “rischio” è utilizzato come sinonimo di “pericolo” o addirittura di “probabilità” (per esempio in frasi come: “è probabile che oggi piova”, o “c’è il rischio o il pericolo, che oggi piova”): in questi casi, gli eventi ci preoccupano perché valutiamo la probabilità piuttosto alta, anche se la conseguenza generalmente non è gravosa. Altre volte, si pensa piuttosto alle conseguenze (per esempio “il terremoto è un evento rischioso” o “pericoloso”): in questi casi, l’evento accidentale (terremoto), pur essendo in genere di bassa probabilità, è ritenuto rischioso essendo la conseguenza generalmente gravosa”.



Ciò suggerisce l'esistenza di un forte legame fra il concetto di rischio ed i concetti di probabilità e danno [2,5], legame questo che, come sarà approfondito in seguito, è stato posto alla base di uno dei più diffusi metodi di quantificazione del rischio (metodo di Farmer).

2.2.1 Terminologia

La normativa UNI definisce il rischio come probabilità che un singolo individuo, un gruppo di individui, un determinato bene o comparto ambientale subisca effetti negativi di data natura ed entità a causa di uno specifico pericolo. Si tratta di un concetto abbastanza complesso, a sua volta fondato su altri concetti molto importanti in materia di sicurezza e di cui è bene dare una definizione. Facendo sempre riferimento alla normativa UNI, si definiscono quindi:

- *Pericolo (Hazard)*: situazione potenziale, determinata da caratteristiche chimico - fisiche, biologiche, etc. di una sostanza, un sistema o un componente, che può comportare effetti negativi per l'uomo o per l'ambiente.
- *Salute*: stato di completo benessere fisico, mentale e sociale, non consistente solo in un'assenza di malattie o di infermità (OMS 1946 e D. Lgs 81/08).
- *Danno*: qualunque alterazione, transitoria o permanente, dell'organismo, di una sua parte o di una sua funzione.
- *Incidente*: evento o serie di eventi accidentali che possono arrecare un danno; oppure evento che ha prodotto danni solo materiali. Convenzionalmente è un "infortunio mancato". È detto anche "evento sentinella" perché un numero elevato di incidenti caratterizza una situazione a forte rischio d'infortunio.



- *Infortunio (sul lavoro)*: Evento lesivo che si verifica in modo improvviso ed imprevisto per causa violenta in occasione di lavoro e dal quale possono derivare: morte, inabilità permanente (parziale o assoluta) o un'inabilità temporanea (parziale o assoluta), che comporta l'astensione dal lavoro e nel quale si riconoscono tutte le seguenti caratteristiche: rilevanza clinica (criterio di gravità), nesso causa-effetto (criterio di causalità); danno a breve distanza di tempo (criterio cronologico).
- *Malattia professionale*: patologia specifica la cui causa, che agisce sempre in modo graduale e progressivo, è direttamente identificabile in un fattore di rischio presente nell'ambiente di lavoro. Più in generale: ogni alterazione della salute che non sia attribuibile ad un infortunio.

Per quanto riguarda le tipologie di rischi, si hanno:

- *Rischi specifici*: legati a fattori chimici e fisici che per loro natura possono danneggiare, in tempi brevi, persone, cose ed ambiente. Si tratta, in sostanza, di eventi continui e molto frequenti, ma con danni modesti.
- *Rischi convenzionali*: legati all'attività di lavoro, agli apparecchi, agli impianti presenti in tutti i settori industriali (si tratta prevalentemente di problemi di infortunistica). Si tratta, in sostanza, di eventi abbastanza frequenti con danni di media entità, che interessano una o più persone.
- *Rischi potenziali di incidenti rilevanti*: derivanti da eventi anomali, capaci di provocare incendi, esplosioni, rilasci di prodotti tossici, etc. dentro e fuori lo stabilimento. In pratica, si tratta di eventi con frequenza molto bassa, ma danni gravissimi.

Vanno infine ricordati i concetti di:



- *Analisi del rischio*: processo di identificazione degli elementi che possono portare al rischio di incidente.
- *Valutazione del rischio*: sintesi degli elementi che caratterizzano il rischio e le relative conseguenze. Più in generale, si tratta di una indicazione, qualitativa o quantitativa, delle possibilità di danno che un sistema tecnico può causare.
- *Gestione del rischio*: insieme delle azioni che devono essere messe in atto per cercare di attenuare il rischio. La ricerca di condizioni di minor rischio (con maggior grado di sicurezza) comporta interventi mirati a diminuire l'entità della conseguenza (protezione) o la frequenza degli eventi pericolosi (prevenzione) o di entrambe.

2.2.2 Quantificazione del rischio

L'essere umano è consapevole che durante la propria vita non sarà mai in grado di evitare completamente i rischi, ma potrà soltanto scegliere la soluzione che egli stesso ritiene meno rischiosa. Pertanto la capacità di prendere decisioni razionali richiede un'espressione del rischio chiara e quantitativa, in modo tale che possa essere opportunamente analizzata, insieme a tutti gli altri costi e benefici, nel processo decisionale.

Si può affermare che, da un punto di vista analitico, il rischio può essere definito, nello spazio degli attributi misurabili, come la combinazione dei danni, o delle conseguenze negative, e delle probabilità ad esse associate. La ricerca di una situazione con minor rischio, ovvero con maggior grado di sicurezza, significherà pertanto una diminuzione dell'entità delle conseguenze, o della probabilità, oppure di entrambe.

La definizione di rischio, convenzionalmente adottata, si può esprimere come:

$$R = f \cdot M \quad (2.1)$$



dove “f” indica la frequenza di accadimento dell’evento incidentale, “M” denota la *magnitudo* dei suoi effetti, ovvero la consistenza delle sue conseguenze e la grandezza “R”, che rappresenta il rischio, prende il nome di *indice di rischio* [24], [25].

Questa definizione prende in considerazione in egual maniera sia le conseguenze provocate dall’incidente, sia la probabilità che tale incidente ha di verificarsi.

La quantificazione del rischio viene espressa attraverso i classici parametri epidemiologici, e cioè con valutazioni statistiche di eventi non desiderati (morte, lesioni, danni di varia natura) in relazione alla popolazione effettivamente esposta al fattore di rischio.

Si può, quindi, indicare il *fattore di rischio* (RR), o rischio relativo, come il rapporto tra gli individui esposti e quelli non esposti.

Nella procedura di valutazione di un rischio, la fase più critica e difficilmente quantificabile è la stima della probabilità dell’evento, mentre lo studio della *magnitudo* è meno soggetta a grandi errori. Ne consegue che non è sempre corretto affidare lo stesso peso di affidabilità ai fattori “f” ed “M”. In altre parole non è vero che 100 incidenti all’anno, ciascuno con un morto, equivalgono a 10 incidenti all’anno, ciascuno con 10 morti, oppure ad un unico incidente all’anno con 100 morti.

Per la valutazione delle frequenze incidentali esistono delle procedure basate su una dettagliata analisi delle condizioni operative del sistema “candidato” ad essere sede dell’incidente.

Per quanto riguarda la *magnitudo*, invece, il discorso si complica a causa degli innumerevoli fattori che intervengono e pesano sull’individuazione di un danno di riferimento che sia accettabile per tutti.

Pertanto, una volta che in un processo vengono individuati quegli eventi che contengono una componente di pericolosità, se ne analizzeranno separatamente la probabilità e/o gravità delle conseguenze insite nell’evento stesso. Il prodotto dei due fattori (probabilità e gravità) permetterà quindi di

individuare il rischio in un determinato evento, nell'ambito di un certo processo.

Gli eventi possono essere, fondamentalmente, di due tipi:

- ✓ *intensivi*, cioè piccoli per estensione, intensi, di breve durata, improvvisi e di scarsa predicibilità;
- ✓ *pervasivi*, cioè diffusi per estensione, di lunga durata, di inizio graduale e di più accurata predicibilità.

Un'altra classificazione degli eventi è legata alle cause:

- *eventi naturali*, cioè al di fuori dal campo di azione dell'uomo ed inerenti alla natura (cicloni, terremoti, vento, etc.);
- *eventi causati dall'uomo*, cioè che avvengono nell'ambito della capacità di governo e controllo della comunità umana; in questo caso si può fare riferimento ad una sottoclassificazione che prevede le tre seguenti tipologie:
 1. accidentali, se sono inattesi;
 2. incidentali, se sono non voluti e non previsti;
 3. intenzionali, se sono previsti o voluti.

Per quanto riguarda le conseguenze degli eventi, esse possono essere di tipo sanitario, sociale ed ambientale.

2.2.2.1 Espressione del rischio in termini di un "insieme di triple"

Lo scopo dell'analisi del rischio è quello di fornire una visione di ciò che avverrà in futuro, quando si intraprende un certo tipo di azione (ma anche una "non azione") [24]. Pertanto l'analisi del rischio consiste fondamentalmente nella

risposta alle seguenti tre domande:

- 1) Che cosa potrebbe accadere?
- 2) Qual è la probabilità che accada?
- 3) Stabilito che accada, quali sono le possibili conseguenze?

Per rispondere a queste domande è necessario fare un elenco degli esiti o “scenari”, come suggerisce la Tabella 2.1.

Tabella 2. 1 – Elenco degli scenari

Scenario	Probabilità	Conseguenza
S_1	p_1	x_1
S_2	p_2	x_2
.	.	.
.	.	.
S_n	p_n	x_n

L’i-esima riga della Tabella 2.1 può quindi essere pensata come una tripla:

$$\langle S_i, p_i, x_i \rangle \quad (2.2)$$

dove:

s_i è l’identificazione e descrizione di uno scenario (evento conseguenza);

p_i è la probabilità associata a ciascun scenario;

x_i è la conseguenza di tale scenario, vale a dire la misura del danno.

Quindi se questa tabella contiene tutti gli scenari pensabili e possibili, può essere considerata come la risposta alle tre domande, e, pertanto, rappresenta il rischio [26]. Più formalmente, utilizzando le parentesi graffe per indicare un “insieme di”, si definisce il rischio come l’insieme delle possibili triple:

$$R = \{ \langle S_i, p_i, x_i \rangle, i = 1, 2, \dots, n \} \quad (2.3)$$

2.2.2.2 Curve di rischio

Si ipotizza [24] che nella Tabella 2.1 gli scenari siano stati disposti in ordine crescente di gravità di danno. Vale a dire che i danni x_i seguono la seguente relazione:

$$x_1 \leq x_2 \leq x_3 \leq \dots \leq x_n \quad (2.4)$$

Aggiungendo alla tabella 2.1 una quarta colonna che indica la *probabilità cumulativa*, che si ottiene sommando dal fondo, si costruisce la tabella 2.2:

Tabella 2. 2 – *Elenco degli scenari con Probabilità Cumulativa*

Scenario	Probabilità	Conseguenza	Probabilità Cumulativa
S_1	p_1	x_1	$p_1 = p_2 + p_1$
S_2	p_2	x_2	$p_2 = p_3 + p_2$
.	.	.	.
.	.	.	.
S_i	p_i	x_i	$p_i = p_{i+1} + p_i$
.	.	.	.
.	.	.	.
S_{n-1}	p_{n-1}	x_{n-1}	$p_{n-1} = p_n + p_{n-1}$
S_n	p_n	x_n	$p_n = p_n$

Plottando poi le coppie di punti $\langle x_i, p_i \rangle$, si può ottenere una funzione discendente “a scala”. È importante notare che quelli che sono stati definiti “scenari”, già a partire dalla tabella 2.1, sono in realtà delle categorie di scenario. Per esempio lo scenario “rottura di una tubatura” comprende un’intera categoria di diversi tipi e dimensioni di rotture, che potrebbero essere previste, ciascuna con i danni conseguenti “x” diversi (le categorie di scenario devono, fra l’altro, essere scelte in maniera da escludersi a vicenda, ed in modo che lo stesso evento non venga visualizzato in più di una categoria).

Quindi si può considerare la funzione “a scala” come un’approssimazione discreta di una curva che in realtà è continua. Pertanto, se si traccia una curva $R(x)$, che approssima la funzione “a scala”, si può ritenere che questa curva rappresenti il rischio effettivo. Viene così definita “curva di rischio”, ed un esempio è riportato in Figura 2.1 [26].

La curva di rischio esprime, quindi, la probabilità di accadimento di un certo evento, o incidente, che presenta una determinata magnitudo.

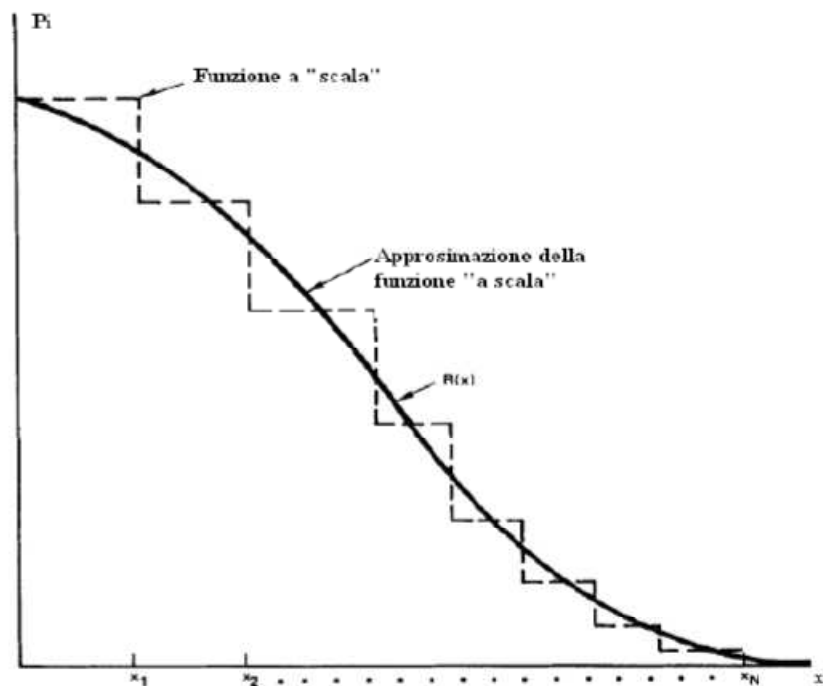


Figura 2. 1 - Esempio di una curva di rischio

È possibile confrontare curve di rischio diverse, relative ad un generico “sistema”: le curve rappresentano le linee di uguale rischio, ottenuto da diverse probabilità e magnitudo, e sono parametrizzate in funzione di un certo valore di rischio.

La Figura 2.2 [27] mette in evidenza che se si è valutato di essere in presenza del rischio $R_A = p_A \cdot x_A$, si può decidere di ridurre questo rischio al valore $R_B = p_C \cdot x_C$, oppure $R_B = p_O \cdot x_O$; in altre parole si può cercare di diminuire la probabilità o la magnitudo, o, possibilmente, entrambi.

Per poter assegnare un valore all’indice di rischio correlato ad un determinato incidente è evidente, ancora una volta, che è fondamentale conoscere la frequenza stimata dell’incidente stesso e la magnitudo delle sue conseguenze (nell’esempio viene espressa in termini di vittime).

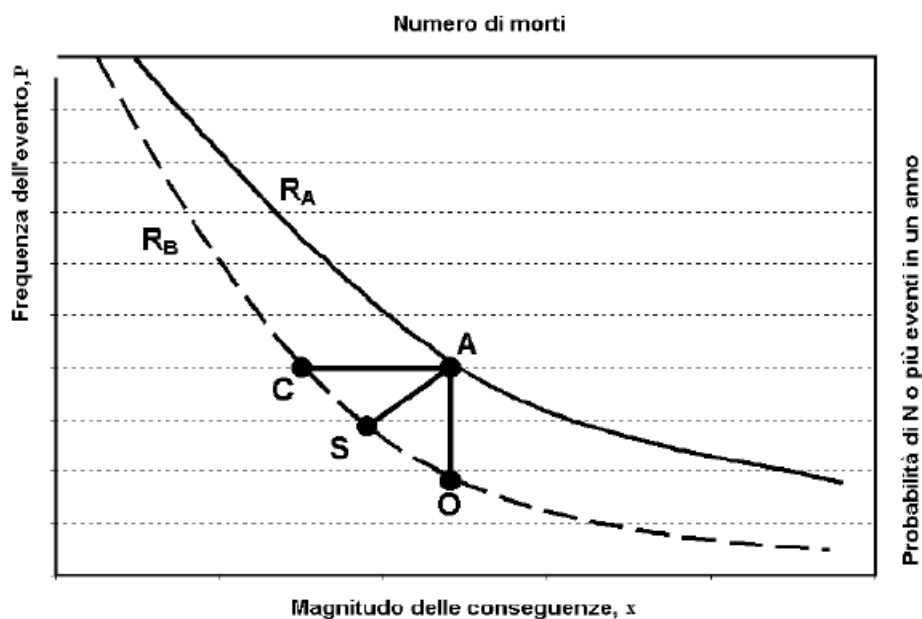


Figura 2. 2 - Curve di rischio relative ad un generico “sistema”

Le curve di rischio possono essere riportate anche in scala bilogarithmica, la quale determina la caratteristica forma concava verso il basso. In questo caso gli asintoti, come mostrato nella figura 2.3, sono l’interpretazione del “massimo danno possibile” e della “probabilità massima raggiungibile”.

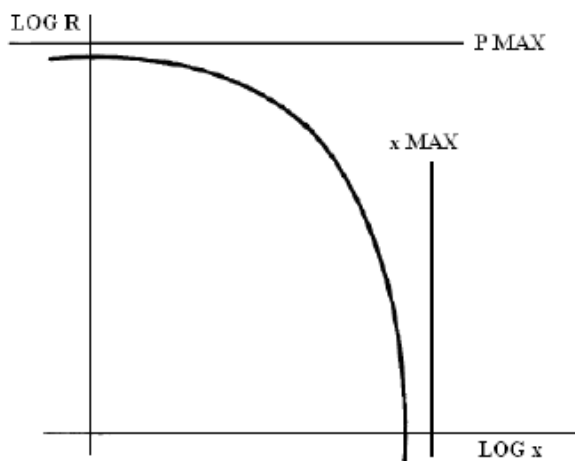


Figura 2. 3 - Curva di rischio in scala bilogarithmica

2.2.2.3 Danni multidimensionali

In molte applicazioni è opportuno identificare diversi tipi di danno, ad esempio, la perdita di vite umane e di beni materiali. In questi casi, il danno, x , può essere considerato come una quantità vettoriale, o multidimensionale, piuttosto che un singolo numero scalare. La curva di rischio diventa così una superficie di rischio su uno spazio multidimensionale (Figura 2.4).

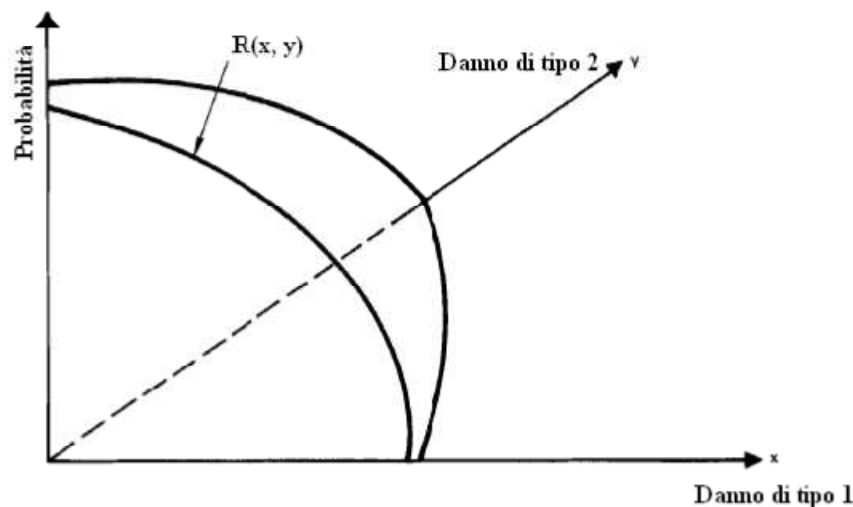


Figura 2. 4 - Superficie di rischio nel caso di danni multidimensionali

2.2.2.4 Probabilità di frequenza

Chiamiamo “frequenza” [24] ciò che viene trattato dagli oggettivisti, o frequentisti, mentre chiamiamo “probabilità” ciò che viene trattato dai soggettivisti. Quindi il termine “probabilità” rappresenta una misura numerica di uno stato di conoscenza, un certo grado di convinzione, uno stato di fiducia. “Frequenza”, dall’altro lato, fa riferimento al risultato di qualche tipo di esperimento che prevede ripetute prove.

Quando dobbiamo prevedere il risultato, Φ , di un esperimento che verrà eseguito in futuro, possiamo considerare che, poiché, ovviamente, non conosciamo questo risultato, esprimiamo la nostra previsione sotto forma di

una curva di probabilità rispetto alla frequenza, come rappresentato dalla Figura 2.5.

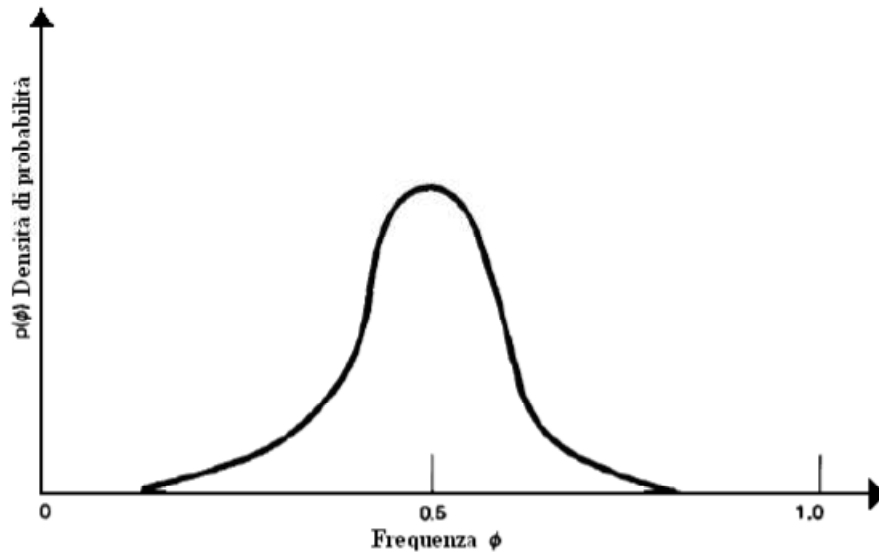


Figura 2. 5 - Curva di probabilità di frequenza

Pertanto, in questo caso, siamo portati alla nozione di curva di probabilità di frequenza, per esprimere il nostro stato di conoscenza [26].

2.2.2.5 Curve di rischio in formato di frequenza

Il concetto di “probabilità di frequenza” può essere utilizzato nel modo seguente. Si può immaginare un esperimento [24] in cui si applica, molte volte, una certa linea di azione proposta. Al termine di tale esperimento ci si può chiedere, per esempio, con quale frequenza si verifica lo scenario S_i . Questa frequenza è un numero misurato sperimentalmente, e viene indicata con il simbolo ϕ_i .

Una volta eseguito l’esperimento, si avrà, quindi, un insieme di valori ϕ_i , per ogni scenario, e l’insieme di triple:

$$\{ \langle S_i, \Phi_i, x_i \rangle \}, i = 1, \dots, n + 1 \quad (2.5)$$

Anche in questo caso è possibile calcolare la frequenza cumulativa:

$$\Phi_i = \sum_{x_j \geq x_i} \phi_i \quad (2.6)$$

Dove la sommatoria è riferita a tutti gli scenari che presentano danni uguali, o maggiori, rispetto a x_i .

A questo punto, rappresentando graficamente l'andamento di Φ rispetto a x , si ottiene la figura 2.6, che si considera una curva di rischio in formato di frequenza, e che rappresenta il risultato dell'esperimento descritto [26].

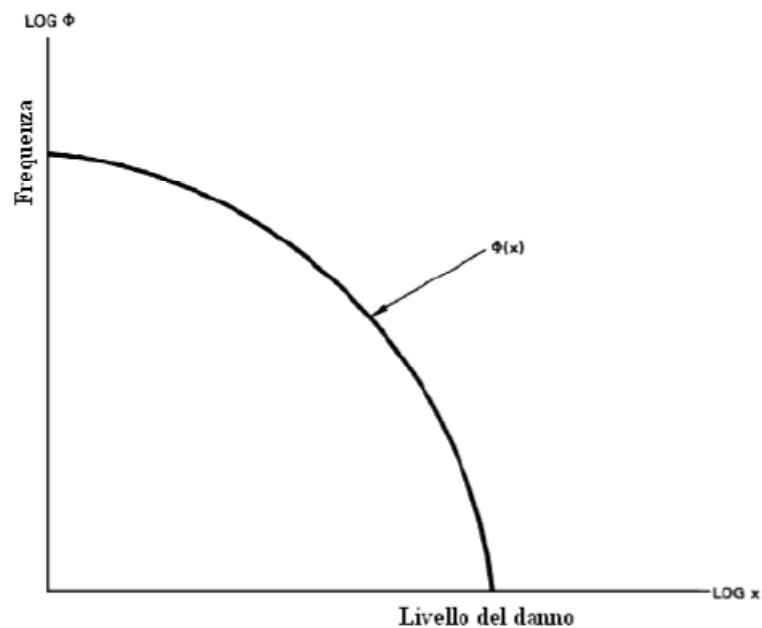


Figura 2. 6 - Curva di rischio in formato di frequenza

2.2.2.6 Inserimento degli elementi di incertezza

Il grado di incertezza del risultato di un esperimento non ancora eseguito dipende dallo stato di conoscenza totale, al di là dell'evidenza dei dati che sono in possesso, e dell'esperienza di eventi simili accaduti in passato.

È necessario, quindi, esprimere questa incertezza utilizzando, naturalmente, il linguaggio della probabilità.

Dato che l'incertezza riguarda una curva, $\Phi(x)$, è possibile esprimerla incorporando questa curva all'interno di uno spazio di curve e costruendo una distribuzione di probabilità su questo spazio.

Graficamente, tutto questo è rappresentato da un diagramma mostrato dalla Figura 2.7.

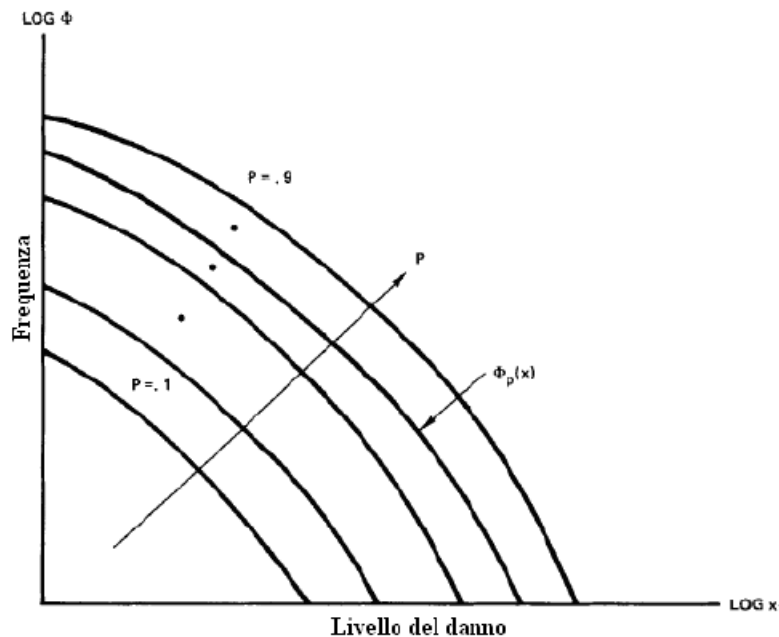


Figura 2. 7 - Curva di rischio in formato di probabilità di frequenza

Questa figura viene definita “curva di rischio in formato di probabilità di frequenza”. Consiste in una famiglia di curve, $\Phi(x)$, il cui parametro è la probabilità cumulativa [26].

Per utilizzare questo diagramma è necessario entrare, per esempio, con uno specifico valore di x e scegliere la curva caratterizzata dal valore $P = 0,90$.

L’ordinata di questa curva, $\Phi_{0,90}(x)$, rappresenta quindi la frequenza di x del 90%. Vale a dire che si ha la sicurezza al 90% che la frequenza con la quale si verifica il livello di danno x , o un livello maggiore, non è superiore di $\Phi_{0,90}(x)$.

È evidente quindi che la figura 2.7 rappresenta la forma grafica di una definizione del rischio più completa, poiché prende in considerazione anche gli elementi di incertezza. È interessante esprimere questa definizione anche in termini di un insieme di triple.

2.2.2.7 Insieme di triple che comprende gli elementi di incertezza

Nell'elencare un insieme di triple legato ad un certo corso di azione [24], si suppone che non si conosca la frequenza con la quale si verifica una certa categoria di scenario S_i . È necessario, quindi, esprimere lo stato di conoscenza relativo a questa frequenza con una curva di probabilità, $p_i(\phi)$, che rappresenta la funzione di densità di probabilità della frequenza ϕ , dell'iesimo scenario. Si ottiene così un insieme di triple che può essere espresso nella forma:

$$R = \{ \langle S_i, p_i(\phi), x_i \rangle \} \quad (2.7)$$

È, quindi possibile affermare che l'insieme di triple appena definito rappresenta il rischio e comprende le incertezze che riguardano la frequenza. Quindi a partire da quest'insieme è possibile costruire la famiglia di curve di rischio, presentate nel paragrafo precedente (figura 2.7), cumulando le frequenze dal basso.

Analogamente, se è presente incertezza anche nel danno, l'espressione dell'insieme di triple varia nel modo seguente:

$$R = \{ \langle S_i, p_i(\phi), \xi_i(x_i) \rangle \} \quad (2.8)$$

Oppure più in generale:

$$R = \{ \langle S_i, p_i(\phi, x_i) \rangle \} \quad (2.9)$$

Ovviamente utilizzando una distribuzione comune su ϕ e x_i .

Di conseguenza, la Figura 2.9, o anche queste ultime tre relazioni, costituiscono una definizione del rischio più estesa e completa, poiché tiene conto anche degli elementi di incertezza [26].

Questa definizione comprende anche quella intesa come semplice insieme di triple (senza elementi di incertezza), nel senso che la frequenza prevista, $\Phi(x)$, per ogni x , non è altro che la probabilità $p(x)$, cioè X . Pertanto includendo esplicitamente l'incertezza, nel calcolo del rischio, non è stata persa alcuna informazione.

Questo è particolarmente importante nelle analisi di rischio dove gli scenari vengono identificati utilizzando alberi degli eventi ed alberi delle cause, e dove il dato fondamentale di input, relativo ai tassi di fallimento dei componenti, è incerto.

L'inclusione esplicita dell'incertezza, inoltre, consente di evitare la nozione di "rischio relativo", che è stata introdotta per confrontare il rischio di diversi sistemi, quando è limitata la fiducia negli stessi calcoli dei rischi. In questo senso, è possibile affermare che, comprendendo anche gli elementi di incertezza, si ottiene una definizione del rischio "assoluta" e "oggettiva".

Dipende, infatti, da elementi di prova a disposizione, ma non dalla personalità degli utenti che collaborano alla risoluzione del problema. Pertanto, due persone razionali, che hanno a disposizione gli stessi elementi di prova, valuteranno il rischio allo stesso modo, ottenendo lo stesso risultato.

2.2.2.8 Tipi di rischio

È possibile individuare differenti tipi di rischio:

- ✓ rischio percepibile *individualmente*;
- ✓ rischio percepibile *collettivamente*;
- ✓ rischio *calcolato*;
- ✓ rischio *reale*.

Il *rischio percepibile* è identificabile con la possibilità che avvenimenti avversi accadano (danni ambientali, ferite personali, danni collettivi, etc.). Il punto essenziale è chiedersi "chi" percepisce tale rischio, ed il "perché" venga percepito.

In genere il "chi" rappresenta tutti coloro che soffriranno le conseguenze dell'accadimento dell'evento, mentre invece il "perché" si riferisce ai motivi per cui il rischio necessita di essere considerato.

La percezione del rischio associato a particolari situazioni, dipende da fattori diversi e da considerazioni sia soggettive che obiettive. Alcune di queste sono:

- *volontaria /involontaria natura del rischio;*
- *familiarità con la situazione;*
- *numero delle persone coinvolte;*
- *tipo di evento;*
- *contesto culturale;*
- *contesto personale;*
- *natura della comunicazione;*
- *esposizione a lungo o breve termine;*
- *immediatezza delle conseguenze.*

Per chiarire brevemente il primo punto sulla *volontarietà del rischio* basta fare un esempio: l'utente della strada, da un lato, è portato ad esigere livelli elevati di standard di sicurezza nei trasporti pubblici, dall'altro, invece, alla guida dei mezzi privati, manifesta una spiccata propensione ad assumere rischi elevati. Parte della ragione sta nel credere che, mentre nel caso dei trasporti pubblici, il livello di rischio non è condizionato dalla volontà personale, nel caso della guida individuale, il rischio può essere “controllato” dall'abilità del singolo utente.

È possibile osservare, inoltre, che la *familiarità*, più o meno presunta, tende a ridurre la percezione del rischio; ecco perché molti incidenti nelle officine accadono proprio al personale esperto.

Per quanto riguarda invece il *numero delle persone coinvolte*, il pubblico reagisce più marcatamente di fronte ad un disastro in cui molti perdono la vita (come per esempio un incidente aereo) piuttosto che allo stesso numero di vite perse in più incidenti. Nel caso degli incidenti stradali, per esempio, il tipo di reazione del pubblico potrebbe essere, almeno parzialmente, un risultato dell'influenza dei media nel riportare le notizie sull'incidente.



Solitamente vi è una diversa reazione, più o meno forte, in relazione ad alcuni tipi di morte piuttosto che altri. La morte per incendio, infatti, è considerata più terrificante rispetto alla morte dovuta ad un incidente stradale.

Il *contesto culturale*, nel quale esiste una situazione di rischio, è legato alla sua percezione. Storicamente, ad esempio, nel West la morte era intesa come un “evento” poco rilevante, contrariamente a quanto accade oggi.

Il rischio percepito è strettamente legato al *contesto personale* o all'importanza dell'obiettivo da raggiungere; differente sarà, infatti, la valenza attribuita ad un rischio proprio o di qualcun altro.

Il modo in cui l'informazione, riguardo al rischio, viene ricevuta, è fortemente legato alla sua percezione. I servizi giornalistici nel *comunicare* un rischio, infatti, cercano di enfatizzare il pericolo e gli inconvenienti soprattutto se il rischio coinvolge in termini emozionali.

L'*esposizione* a lungo termine di un rischio viene considerata più preoccupante rispetto a quella a breve termine; ad esempio, infatti, vivere nei pressi di un impianto nucleare o chimico è ritenuto più allarmante di un viaggio in auto, poiché nel primo caso il rischio è vissuto con continuità, mentre nel secondo è considerato transitorio, e quindi accettabile.

In ultimo vi è il fattore dell'*immediatezza* dei risultati. Ad esempio molti fumatori, pur consapevoli dai danni causati dal fumare, sono disposti ad accettare il rischio perché le conseguenze non sono immediate. In questo caso i problemi futuri vengono sottovalutati rispetto al piacere immediato.

Oltre al rischio percepito individualmente, esiste anche la *percezione collettiva*, che influenza direttamente le decisioni da prendere; è la collettività, infatti, che dovendo fronteggiare la necessità di operare un cambiamento, può orientare le scelte verso soluzioni più o meno rischiose.

Il *rischio calcolato* è, invece, il livello di rischio ottenuto attraverso procedure di valutazione quantitativa del rischio. Si tratta di metodologie

finalizzate al calcolo della probabilità di accadimento dell'evento rischioso e delle conseguenze ad esso associate.

Consideriamo adesso il concetto di *rischio reale*. La supposizione alla base di tale concetto è che, se tutte le informazioni relative alla probabilità ed alle conseguenze proprie di un incidente fossero conosciute, allora il rischio così calcolato sarebbe proprio quello reale; al contrario, nel caso di informazioni imprecise ed incomplete, ciò non sarebbe più possibile. Questo punto di vista si poggia su ulteriori supposizioni: innanzitutto, il sistema deve essere stabile nel tempo, altrimenti le informazioni statistiche non possono essere raccolte, ed inoltre, l'informazione deve essere misurabile e le registrazioni devono essere valide. Infine la scala temporale dell'informazione sull'evento deve essere tale che l'informazione stessa possa essere raccolta. Nel caso dei terremoti, per esempio, l'incidenza dell'evento è rara, e pertanto le informazioni sono necessariamente scarse. D'altra parte, gli incidenti stradali sono sufficientemente frequenti da considerare la possibilità di raccogliere dati utili alla valutazione del rischio reale.

2.2.2.9 La percezione pubblica del rischio

La percezione pubblica del rischio è la valutazione, sia razionale che emotiva, che il pubblico ha nei confronti di un dato evento.

L'atteggiamento del pubblico di fronte ai rischi è spesso di tipo emotivo e non ha alcuna relazione con la loro entità. È tipico l'esempio delle persone che hanno paura di viaggiare in aereo, ma che viaggiano tranquillamente in automobile, mentre dai dati della tabella 2.3, che deriva da un'indagine condotta in Gran Bretagna, risulta che il rischio di morte per incidenti stradali è 50 volte superiore di quello per trasporto aereo.

Tabella 2. 3 – Rischi di morte dovuti a differenti cause

Causa	Decessi, in un anno, su un milione di persone
Fumo	5000
Attacchi cardiaci	3200
Cancro al polmone	700
Incidenti stradali	150
Cadute accidentali	100
Incendi	20
Annegamenti	10
Trasporto aereo	3
Elettricità	2,5
Fulmini	0,2

A parità di uno stesso livello di rischio razionale (in termini, ad esempio, di frequenza di morti/esposti) il pubblico si allarma maggiormente, ed è più sensibilizzato da eventi catastrofici (esplosioni, terremoti, etc.) che possono essere definiti di grande magnitudo con danni del tipo “tutto o niente”, con manifestazione singola ed istantanea piuttosto rara.

Inversamente il pubblico è poco sensibile nei confronti di *eventi cronici*, periodicamente ripetitivi (morti o infortuni sul lavoro, trasporti, incidenti domestici, etc.), ed ancora meno nei confronti di danni non immediatamente visibili, come quelli latenti dell’inquinamento dell’aria e degli alimenti.

Il pubblico accetta più facilmente un evento cronico che provoca 1000 morti distribuiti nell’arco di 50 anni, che non un evento catastrofico che provoca la morte di 500 persone contemporaneamente, con periodicità di una volta ogni 25 anni.

2.2.2.10 *Rischio “accettabile”*

In campo ingegneristico, come in altri aspetti della vita, un rischio più elevato, solitamente, comporta costi maggiori, da cui discende la questione di “sufficiente sicurezza” e “quale sia il rischio accettabile”.

In primo luogo la nozione di rischio accettabile implica che il rischio stesso sia confrontabile linearmente. Ciò significa che il rischio di una certa linea di azione “A” è superiore, o inferiore, a quello di “B”. Considerando le curve di rischio, ad esempio nella Figura 2.8, è evidente che i rischi sono diversi, ma non è possibile dire facilmente qual è il più grande. Essi, quindi, non sono linearmente confrontabili.

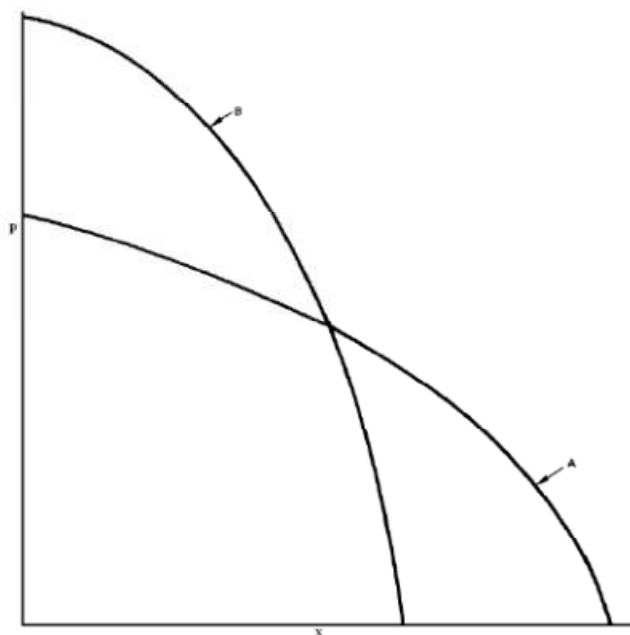


Figura 2. 8 - Curve di rischio a confronto

La situazione è ancora più difficile se si devono confrontare le curve di rischio in formato di probabilità di frequenza, rappresentate in Figura 2.9.

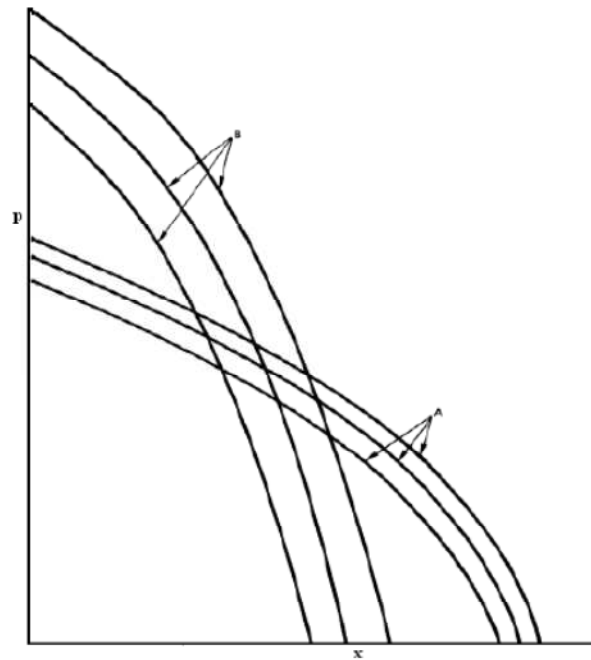


Figura 2. 9 - Curve di rischio in formato di probabilità e frequenza

Naturalmente è possibile ridurre queste curve di rischio, o famiglie di curve, a singoli numeri, introducendo per esempio la funzione *utilità* rispetto a x , $U(x)$, e calcolandone il valore atteso. Per semplici curve di rischio, il valore atteso della funzione utilità si può esprimere come segue:

$$\bar{U} = - \int_0^{\infty} U(x) \cdot \frac{dp}{dx}(x) \cdot dx \quad (2.10)$$

Mentre per le curve di rischio in formato di probabilità di frequenza, per ogni curva discreta ϕ_i , si può calcolare il valore atteso come:

$$\bar{U}_i = \int_0^{\infty} U(x) \cdot \frac{d(\phi_i)}{dx} \cdot dx \quad (2.11)$$

E quindi:

$$\bar{U} = \sum_i p_i \bar{U}_i \quad (2.12)$$

Questi sono valori scalari, e quindi linearmente confrontabili, anche se vengono ottenuti con una grande perdita di informazioni nel calcolo del valore atteso [26].

Supponendo ora che, confrontando questi scalari, si preferisca il rischio “B” rispetto a quello “A”, questo non basta per definire questo rischio come

“accettabile”. Cioè un rischio può essere considerato accettabile o meno, se considerato da solo, ma soltanto in combinazione con tutti i costi e benefici a cui è legato.

Quindi la valutazione razionale dell'accettazione di nuovi rischi dovrebbe essere completata sulla base di un'*analisi costi/benefici*, ma in concreto quest'analisi risulta particolarmente complessa qualora si debbano monetizzare i benefici di tipo sociale, politico, estetico, culturale, etc.. La valutazione, dunque, resta di carattere individuale, e sostanzialmente legata alla percezione pubblica dei benefici.

Inoltre, tale analisi, per essere rigorosamente valida, comporta la piena e completa conoscenza di tutti i possibili effetti positivi e negativi, diretti o indiretti, di un'attività. È chiaro, quindi, che una simile conoscenza può essere sufficiente per attività già in essere da tempo ed in qualche modo dotate di una storia da analizzare, ma è senza dubbio approssimativa e lacunosa per nuove attività.

L'accettazione di nuovi rischi, e quindi la loro gestione, si attua così attraverso uno schema decisionale di tipo “democratico”, cioè che implica una reale accettazione sociale del rischio, e non una sua imposizione.

La valutazione tecnico - scientifica del livello di rischio è solo una delle componenti necessarie per la definitiva *valutazione sociale* del rapporto costi/benefici, un tipo di valutazione fondata in larga parte su considerazioni sociali e politiche ed esprimibili come percezione pubblica dei rischi e dei benefici [28].

Se tale valutazione è positiva si giunge all'*accettazione sociale del livello di rischio* e l'attività in questione, o l'agente di rischio, è accettato; viene poi formulata una definizione istituzionale del livello minimo di rischio, nonché dei margini di rischio monetizzabili con indennità ed assicurazioni.

Ovviamente è necessaria una continua verifica, sulla base degli eventi negativi verificatisi successivamente, affinché il livello di rischio atteso e verificato sia soddisfacente.

Quando, sia a priori che a posteriori, la valutazione sociale del livello di rischio è negativa, e quindi il livello di rischio non è accettato, le Istituzioni dello Stato sono, nello stesso tempo, giudice e conciliatore tra le parti interessate (ad esempio, l'industria che propone un nuovo prodotto e gli utenti della fabbrica).

Lo schema decisionale illustrato ha il difetto di non tenere in alcun conto, o perlomeno di rendere equivalenti, i benefici apportati da queste nuove attività. Ciò si traduce in pratica nella sola valutazione comparativa dei rischi, lasciando poi alla componente sociale la valutazione dei benefici in termini di *percezione pubblica del beneficio*.

La valutazione quantitativa dei rischi costituisce l'aspetto più importante dello schema decisionale, in quanto non esistono metodi univoci di stima e confronto, ma diversi approcci che partono da differenti punti di vista.

Il tipo di rischio stesso, inoltre, delinea diversi approcci in termini di maggiore o minore rigore in relazione alle priorità del rischio in questione in confronto ad altri. In particolare è importante sottolineare che il rischio diventa sempre più prioritario ed urgente di definizione, quanto più è elevato il numero degli esposti, cioè quanto più aumenta il rischio di catastrofe.

2.3 L'analisi del rischio

2.3.1 Introduzione

Il mondo finanziario e quello industriale [24], da tempo, usufruiscono delle procedure di analisi del rischio, le quali, in tempi recenti, stanno trovando incoraggianti consensi anche nell'ambito dell'ingegneria.

Nell'analisi del rischio è possibile individuare tre fasi fondamentali [27]:



1. *identificazione degli incidenti* che sono ipotizzabili in un dato contesto (strutturale, funzionale, ambientale, etc.);
2. *valutazione quantitativa dei fattori che determinano il rischio*:
 - ✓ stima delle probabilità di accadimento dell'incidente;
 - ✓ stima delle conseguenze associate all'ipotesi di incidente;
3. *valutazione e controllo del rischio* inteso come processo di confronto con eventuali obiettivi di sicurezza, al fine di stabilire l'accettabilità e le azioni che possono essere intraprese per intervenire sui fattori che determinano l'evento e cioè per diminuire le frequenze di accadimento dell'incidente e/o le conseguenze ad esso associate.

L'identificazione del rischio comporta principalmente l'accumulo di conoscenze, basate su studi mirati o su esperienze storiche, che possano fornire informazioni su un dato pericolo. L'acquisizione di queste conoscenze, nel caso in cui si voglia effettuare, ad esempio, un'analisi di incidentalità stradale, avviene sulla base delle informazioni raccolte sugli incidenti già avvenuti.

Mediante opportune elaborazioni dei dati d'archivio è, infatti, possibile individuare i tratti ed i punti ad elevata incidentalità e quindi collegare il sinistro alla sua causa. In ogni caso, comunque, la fase di identificazione del rischio può avvenire attraverso l'articolazione di un processo a cascata, che consta di tre fasi:

- *monitoraggio*: è un processo ricorrente di osservazioni che vengono sistematicamente registrate;
- *screening*: è un processo di identificazione dei pericoli in base al quale si applica una procedura standardizzata, mirata a classificare prodotti, processi, fenomeni, etc., rispetto al loro pericolo potenziale;
- *diagnosi*: è la determinazione del pericolo in termini di conseguenze, in rapporto ad una possibile causa.

La stima del rischio comprende l'analisi delle probabilità dell'evento e della consistenza delle conseguenze ad esso associate.



Si fa uso, in questo caso, di calcoli di tipo statistico, che, sulla base dei dati a disposizione e mediante l'adozione di modelli matematici, consentono di quantificare il rischio connesso ad un determinato evento.

È possibile valutare la probabilità di un evento relativo ad un processo nuovo, per il quale non esistono “dati storici” a cui ricorrere. Tale valutazione può essere condotta adoperando metodi numerici più o meno complessi; fra questi ricordiamo la procedura dell'*analisi ad albero degli eventi*, cioè un processo logico che consente di scomporre la probabilità dell'evento finale nella sommatoria di una serie di eventi concatenati a cui è possibile assegnare determinate probabilità in base ad un altro tipo di analisi, detta *analisi ad albero delle cause*.

La valutazione del rischio consiste nel valutare la misura del rischio in rapporto ad altri rischi ed in relazione ai benefici associati al rischio stesso; tali benefici, a loro volta, vengono valutati rispetto ai costi, attuali o ipotetici, associati alla prevenzione ed alla riduzione del rischio in esame.

Scopo dell'analisi è anche quello di identificare le condizioni che possono innescare l'evento incidente.

La verifica della sicurezza offre, quindi, attraverso l'indagine, la possibilità di disporre dei risultati qualitativi, ampliando così l'area di accertamento nel campo specifico rispetto ai semplici indici di frequenza e gravità dei sinistri che forniscono soltanto un valore puramente quantitativo del fenomeno dell'incidentalità, senza approfondirne le cause.

2.3.2 Individuazione delle sorgenti di rischio

L'analisi dei rischi richiede l'espletamento delle seguenti fasi:

- l'identificazione degli eventi indesiderati, o avversi, che conducono ad un incidente;

- l'analisi dei meccanismi attraverso cui gli eventi non desiderati possono avere luogo;
- la stima dell'estensione, della magnitudo e della probabilità di accadimento di qualunque fenomeno pericoloso.

Teoricamente l'analisi andrebbe applicata soltanto per l'identificazione delle sequenze incidentali credibili, associate ad ogni rischio potenziale. Sfortunatamente, però, gli incidenti poco credibili hanno l'abitudine di accadere nella realtà.

Il primo passo che si deve compiere, affrontando l'analisi dei rischi che interessano una certa area, è quello di individuare tutte quelle situazioni di processo che si candidano a costituire delle possibili sorgenti di incidenti rilevanti.

L'obiettivo di fondo è, dunque, quello di mettere in luce tutte le situazioni di rischio di incidente rilevante che possono esistere nell'ambito di un'area in esame.

I risultati dell'indagine si esplicitano in *mappe di rischio*, *curve di rischio sociale* ed *analisi di sensitività* [27].

2.3.3 Mappe di rischio

Per poter descrivere tali mappe [24], è necessario, come prima cosa, chiarire il concetto di *rischio locale*.

Il *rischio locale* è definito come la frequenza annua di morte di un individuo permanentemente collocato, senza mezzi di protezione e possibilità di fuga, in un certo punto di un'area geografica.

Tale rischio può essere rappresentato su una mappa tramite *curve di isorischio*, ovvero curve che uniscono punti aventi lo stesso valore di rischio locale. Un esempio è rappresentato nella Figura 2.10.

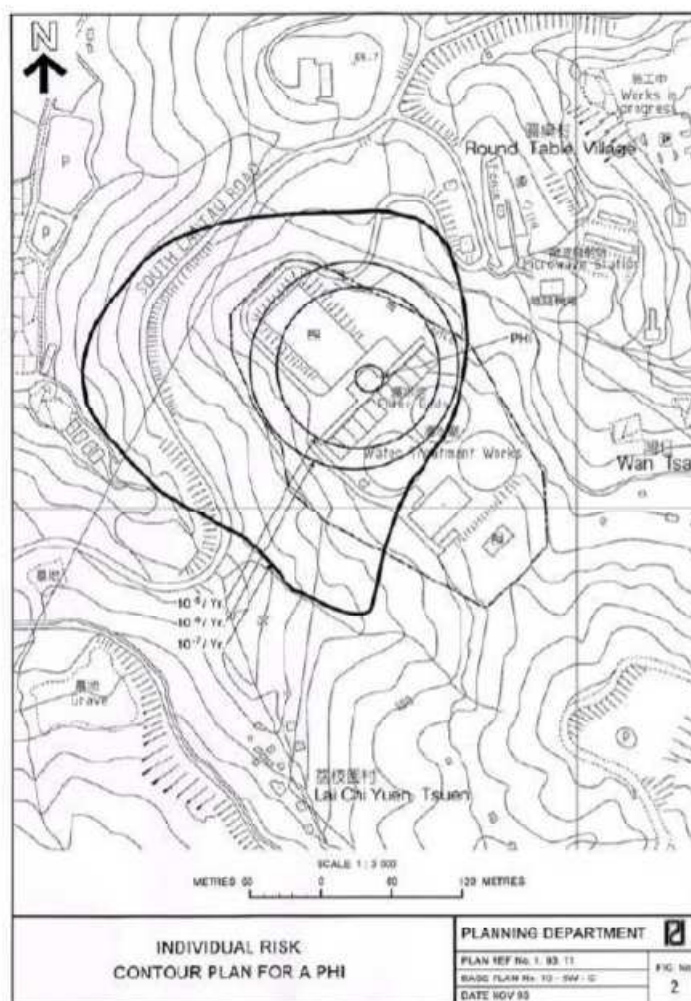


Figura 2. 10 - Esempio di mappa di rischio locale

Si tratta però di un indice “ideale”, in quanto si riferisce ad una situazione non reale, ovvero quella di un individuo permanentemente presente nel medesimo punto, in assenza di qualsiasi protezione o mitigazione.

Per considerare una situazione reale, è possibile moltiplicare il valore del rischio locale per due fattori:

- probabilità di presenza dell’individuo nel punto dell’area in questione;
- fattore mitigativo, dovuto alla possibilità dell’individuo di proteggersi dagli effetti nocivi dell’incidente, per esempio rifugiandosi all’interno di edifici.



In questo modo si ottiene il *rischio individuale*, definito come la frequenza annua di morte di un individuo collocato in un certo punto di un'area geografica, considerando la probabilità di presenza in quel punto, la possibilità di disporre di mezzi di protezione e la possibilità di fuga.

Per le definizioni sopra riportate, quindi, emerge che il rischio individuale è sempre inferiore, o al massimo uguale, al rischio locale.

A questo punto si possono costruire le *mappe di rischio*, che sono ottenute tracciando le curve di isorischio individuale sulla pianta della zona di impatto, esprimendo così la stima del pericolo che un individuo corre a seconda della sua posizione.

Tali mappe individuano le zone a maggiore o minore pericolosità, e sono utili soprattutto nella fase di pianificazione delle emergenze, dato che permettono di prevedere quali possano essere, per ogni condizione ambientale, gli sviluppi possibili dell'incidente.

Non è difficile prevedere, per le mappe di rischio, anche un ruolo nell'ambito della gestione delle emergenze. Infatti, la crescente disponibilità di risorse di calcolo, permette la messa a punto di strumenti automatici di supporto alle decisioni che, avvalendosi delle misure delle condizioni ambientali e della tempestiva conoscenza delle caratteristiche incidentali, possono fornire, in tempo reale, le informazioni necessarie ad una corretta, pronta e, soprattutto, efficace gestione delle emergenze.

2.3.4 Curve di rischio sociale

Il rischio *sociale* esprime l'impatto di un singolo evento su una comunità, in quanto è connesso all'idea che l'opinione pubblica ha del rischio: infatti, un unico evento che provoca un elevato numero di morti (come avviene, ad esempio, in un incidente aereo) ha un impatto psicologico maggiore di un

numero elevato di eventi che provocano un morto ciascuno (come avviene, ad esempio, negli incidenti stradali).

È evidente, quindi, che si tiene conto del numero di persone che possono essere coinvolte dagli effetti di un incidente.

Il rischio sociale è solitamente rappresentato mediante le *curve F-N*, ovvero grafici che riportano in ordinata la frequenza cumulata F con la quale, a seguito di tutti gli incidenti ipotizzabili a causa di un'attività, si ha nell'area considerata un numero di morti maggiore o uguale a N , riportato in ascissa.

Queste curve permettono di valutare globalmente la situazione reale del rischio in una certa area geografica, svincolandosi dalla dipendenza spaziale della rappresentazione ottenibile con le mappe. In sede di pianificazione delle emergenze danno una misura chiara delle dimensioni della situazione in esame e costituiscono un utile riferimento per la predisposizione delle misure di emergenza, poiché consentono di qualificare la credibilità dei più gravi incidenti individuati nell'analisi.

In Figura 2.11 è riportato un esempio di curva $F-N$.

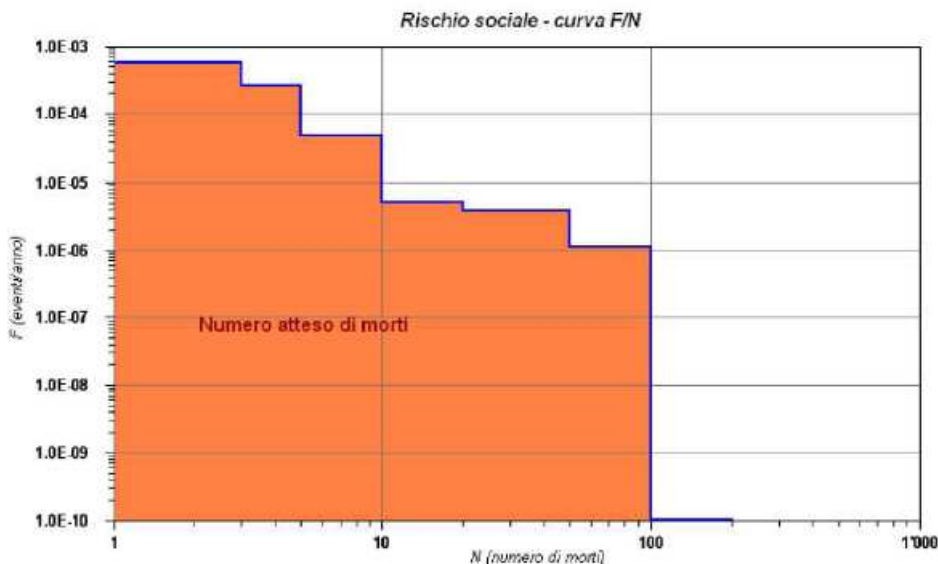


Figura 2. 11 - Esempio di una curva $F - N$

Il rischio sociale può anche essere rappresentato attraverso il *numero atteso di morti*, (E), che viene individuato dalla seguente relazione:

$$E = \sum_{N_{min}}^{N_{max}} f_i N_i \quad (2.13)$$

dove f_i è la frequenza (semplice) con la quale si sono verificati degli eventi con un numero di morti pari a N_i . Per sua stessa definizione, il numero atteso di morti è rappresentato graficamente, nel diagramma F-N, dall'area sottesa dalla curva.

2.3.5 Analisi di sensitività

L'analisi di sensitività consiste nello studio della variazione delle condizioni di rischio al variare di uno o più parametri del problema.

L'utilità di questo studio è notevole soprattutto in sede di pianificazione sia del territorio, che delle attività produttive, in quanto permette di individuare i contributi di ciascuna sorgente di rischio all'indice globale, e quindi di agire, sia nella prevenzione degli incidenti, che nell'adozione di misure volte alla mitigazione delle conseguenze, nella direzione che consente di ottimizzare la pianificazione.

È, inoltre, uno strumento importante per quanti devono prendere decisioni circa la realizzabilità di opere, sia civili che industriali, e la loro dislocazione sul territorio.

2.3.6 Definizione degli scenari

In precedenza il rischio è stato definito, quantitativamente, come un insieme di triple del tipo [26]:

$$R = \{ \langle S_i, p_i(\phi), \xi_i(x_i) \rangle \} \quad (2.8)$$

È di fondamentale importanza, ora, chiarire come è possibile trovare gli scenari S_i , ovvero la prima parte della tripla.

In primo luogo si deve indicare con S_0 il cosiddetto “scenario di successo”, che sarà lo scenario di riferimento. A questo punto si deve pensare ad S_0 come una traiettoria nello spazio del sistema, come mostrato dalla Figura 2.12.

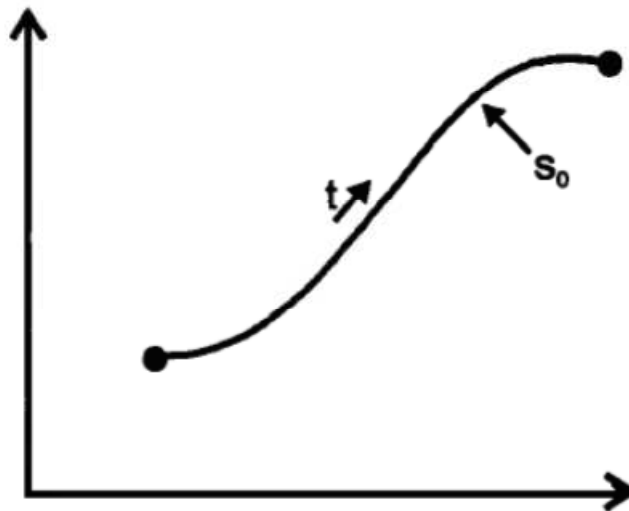


Figura 2. 12 - Scenario S_0 visto come una traiettoria nello spazio del sistema

Ogni scenario di rischio, S_i , deve essere, quindi, considerato come una traiettoria che parte da S_0 , e questo è rappresentato dalla Figura 2.13.

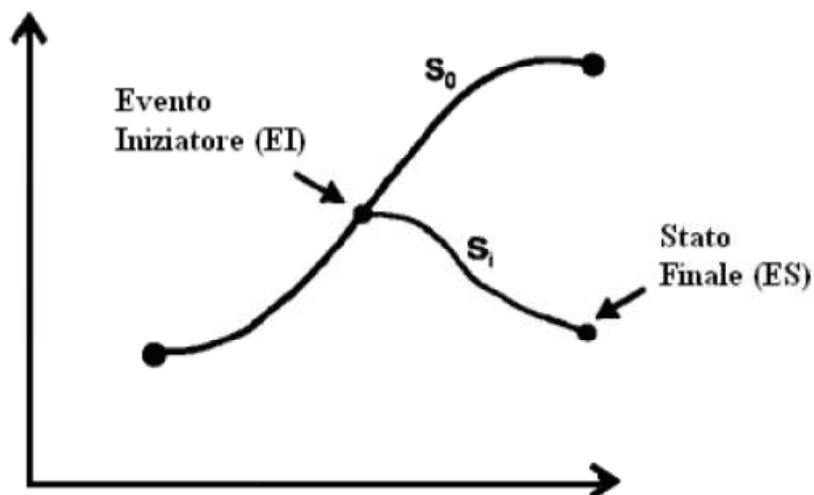


Figura 2. 13 - Scenario di rischio S_i inteso come deviazione da S_0

Pertanto, ci deve essere un punto di partenza in corrispondenza del quale accade il cosiddetto “Evento Iniziatore” (EI), che dà inizio allo scenario S_i , e continua fino a quando termina in uno “Stato Finale” (ES).

Ora, ciò che si avvicina maggiormente alla realtà è illustrato in Figura 2.14, ovvero, da un evento iniziatore emerge un intero “albero” di più scenari, che dipende da quello che succede in seguito. Questo è proprio denominato “albero degli scenari” [29].

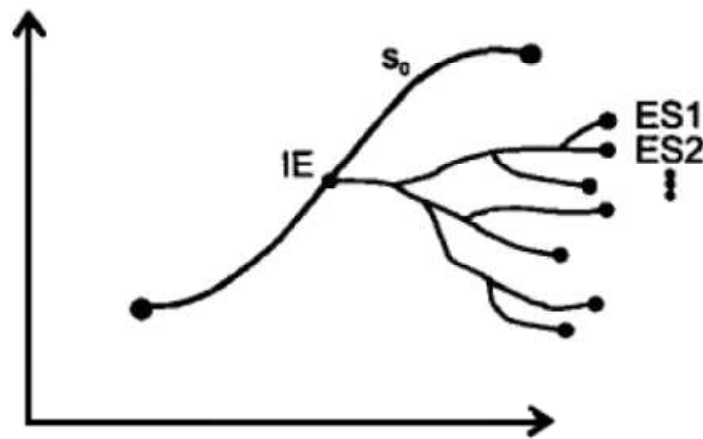


Figura 2. 14 - Albero degli scenari che emerge da un evento iniziatore

A seconda di come si sviluppano gli eventi, i “rami” di due alberi distinti possono confluire in uno stato finale comune. Graficamente, questo è rappresentato dalla Figura 2.15.

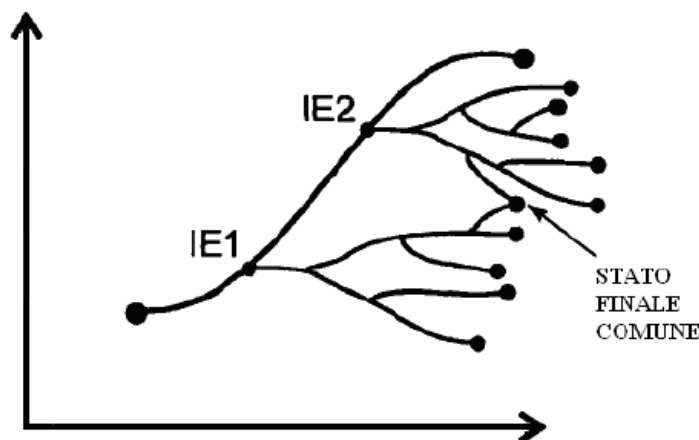


Figura 2. 15 - Rami di diversi alberi possono convergere in uno stato finale comune

Questo ci suggerisce che è anche possibile disegnare più alberi che terminano in un unico stato finale di interesse, come nella Figura 2.16.

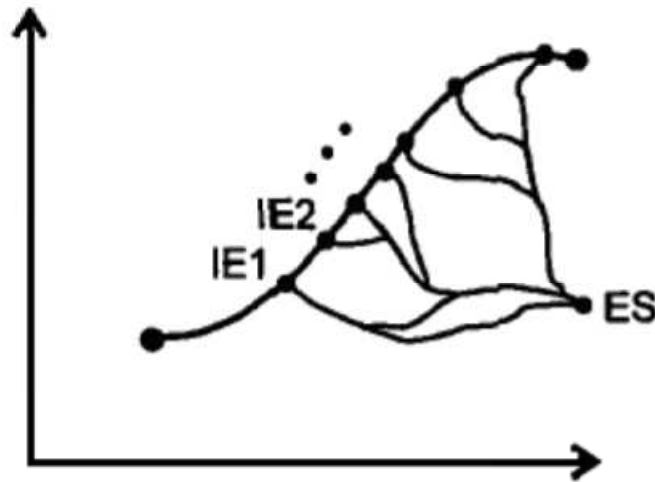


Figura 2. 16 - Albero degli scenari “entrante”

Questo potrebbe essere definito albero degli scenari “entrante”, noto anche come “albero delle cause”. I cosiddetti alberi “uscenti”, invece, sono conosciuti come “alberi degli eventi”.

Quindi, in definitiva, esistono almeno due metodi per determinare gli scenari finali. Il primo, consiste nel fissare tutti gli eventi iniziatori, e nel disegnare gli alberi “uscenti” da ciascuno di essi. Il secondo, invece, rappresenta esattamente il procedimento opposto, cioè consiste nell’individuare tutti gli stati finali di interesse, e nel delineare gli alberi “entranti” di ognuno.

In realtà esistono anche altri metodi per individuare tali scenari; uno di questi, per esempio, si sviluppa attraverso l’identificazione dei cosiddetti “stati medi”, a partire dai quali è possibile disegnare sia gli alberi “entranti”, che quelli “uscenti”, ovvero sia gli alberi degli eventi, che quelli delle cause. La Figura 2.17 chiarisce questo concetto.

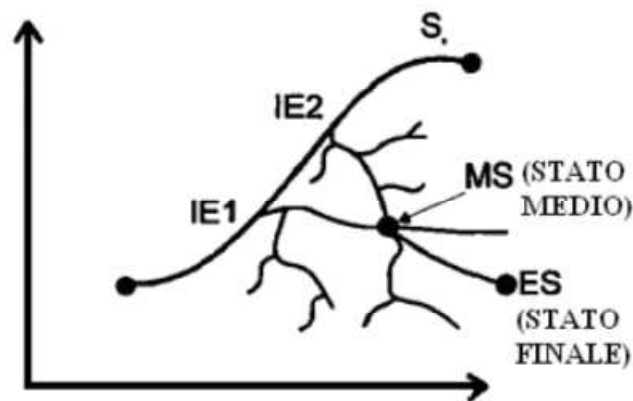


Figura 2. 17 - Alberi “entranti” ed “uscenti” a partire dallo stato medio

2.4 Le misure di prevenzione e protezione

Come è stato spiegato nei paragrafi precedenti, tra le numerose definizioni quantitative di rischio, la più utilizzata è quella espressa dalla relazione formulata dal professor Farmer (2.1):

$$R \text{ (rischio)} = f \cdot M \quad (2.1)$$

Dove:

- f = Frequenza di accadimento dell'evento di rischio
- M = Magnitudo delle conseguenze, ovvero entità del danno (a persone e/o cose) che l'evento di rischio produrrebbe, qualora dovesse concretamente verificarsi.

Inoltre, con riferimento alle “curve isorischio” $R_{(x,y)} = \text{cost}$ (che forniscono un'indicazione significativa del livello di rischio, inteso come probabilità, nell'unità di tempo fissata, che un individuo posizionato in (x,y) , in permanenza e non difeso da barriere protettive di alcun tipo, subisca gli effetti di un incidente originato dall'impianto in oggetto di studio) introdotte in precedenza, è possibile affermare che, nel determinare una cifra di rischio

inaccettabile ai fini della sicurezza, possono giocare un ruolo prevalente f , M o entrambi. Nel primo caso, gli interventi di miglioramento della sicurezza devono essere mirati alla riduzione della probabilità di accadimento di eventi sfavorevoli e si parla pertanto di “*prevenzione*”. Nel secondo caso, per ridurre la cifra di rischio, occorre invece proteggere i lavoratori da eventi che, sia pure con una frequenza molto bassa, potrebbero verificarsi e si parla di interventi di “*protezione*”. Nel terzo ed ultimo caso risultano invece necessari interventi in termini sia di prevenzione che di protezione.

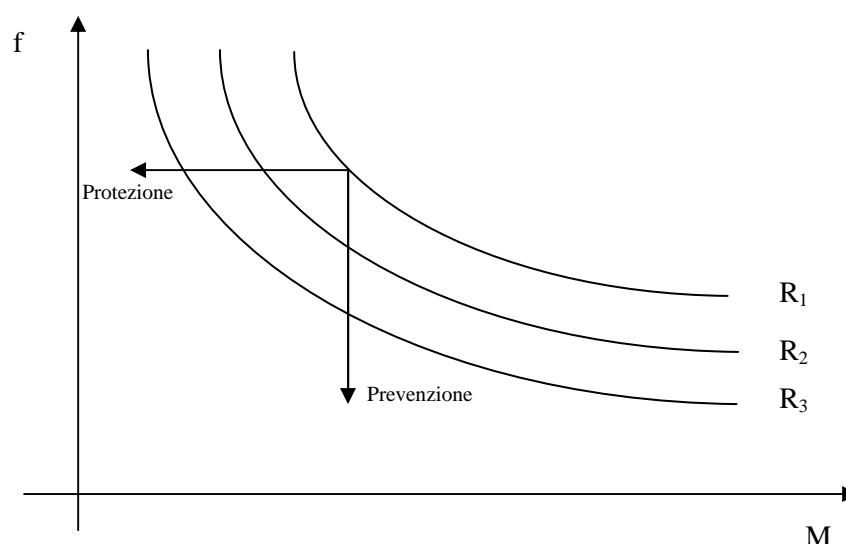


Figura 2. 18 - Tipologia degli interventi per la riduzione dei rischi

Infine, la cifra di rischio proposta da Farmer, permette di individuare le seguenti aree di rischio:

- Area del rischio “non accettabile”: un rischio che si posizioni in questa zona non può essere giustificato in nessun caso e deve essere ridotto con metodi appropriati;
- Area del rischio “accettabile”: qualora il rischio associato all’attività in esame si posizioni in questa zona, non sono necessarie ulteriori indagini ed azioni, in quanto il valore è da ritenersi accettabile;

- Area “ALARP” (As Low As Reasonably Practicable): Area sottesa alla linea limite dove i rischi devono essere ridotti per quanto possibile, mediante l’adozione di provvedimenti specifici. Occorre svolgere ulteriori indagini e prevedere azioni mitigative al fine di ridurre, per quanto ragionevolmente praticabile, il valore del rischio. Il criterio di decisione è, in questo caso, un’analisi costi/benefici. Il rischio si può ritenere “tollerabile” solamente se si fornisce evidenza che il costo associato ad una sua ulteriore riduzione sia superiore ai benefici attesi.

Ovviamente, da un punto di vista economico, la Sicurezza ha un costo che deve essere tenuto in considerazione dall’imprenditore in termini di risparmio potenziale che la sua attuazione può determinare. Gli interventi di prevenzione e protezione comportano costi di investimento (CI) e costi di esercizio (CE); indicando con A_i ed A_f i costi assicurativi da sostenere prima e dopo la realizzazione delle misure di sicurezza, deve essere verificata la seguente disequaglianza:

$$CI + CE - (A_i - A_f) < \Delta R_{tot} \quad (2.14)$$

Essa, in sostanza, dice che la spesa totale per la Sicurezza meno il risparmio sui costi assicurativi conseguibile in virtù delle nuove dotazioni di sicurezza deve essere inferiore rispetto al rischio che si corre.



2.5 La Sicurezza Sul Lavoro

La salute e l'integrità fisica delle persone possono essere messe in pericolo dall'attività lavorativa e, più in generale, dall'ambiente di lavoro in cui si trovano ad operare. Le cause della pericolosità possono riguardare:

- L'ambiente materiale: presenza di sostanze tossiche, insufficiente illuminazione, rumore eccessivo, etc.;
- La gravosità del lavoro: posizione scomoda, orario di lavoro, etc.;
- La pericolosità delle operazioni.

La *sicurezza* può essere definita come la “conoscenza che l'evoluzione di un sistema non produrrà stati indesiderati”. Ovviamente un sistema può evolversi senza dar luogo a stati indesiderati, ma non per questo esso può essere ritenuto sicuro. Solo una conoscenza di tipo scientifico, basata quindi su osservazioni ripetibili, può garantire una valutazione sensata della sicurezza. La sicurezza totale si ha in assenza di pericoli. In senso assoluto, si tratta di un concetto difficilmente traducibile nella vita reale anche se l'applicazione delle norme di sicurezza rende più difficile il verificarsi di eventi dannosi e di incidenti e si traduce sempre in una migliore qualità della vita. Le principali misure da adottare per migliorare le condizioni di lavoro e ridurre la possibilità di infortuni sono:

- la valutazione di tutti i rischi per la salute e la sicurezza;
- la programmazione della prevenzione, mirata ad un complesso che integri in modo coerente nella prevenzione le condizioni tecniche produttive dell'azienda nonché l'influenza dei fattori dell'ambiente e dell'organizzazione del lavoro;
- l'eliminazione dei rischi e, ove ciò non sia possibile, la loro riduzione al minimo in relazione alle conoscenze acquisite in base al progresso tecnico;



- il rispetto dei principi ergonomici nell'organizzazione del lavoro, nella concezione dei posti di lavoro, nella scelta delle attrezzature e nella definizione dei metodi di lavoro e produzione, in particolare al fine di ridurre gli effetti sulla salute del lavoro monotono e di quello ripetitivo;
- la riduzione dei rischi alla fonte;
- la sostituzione di ciò che è pericoloso con ciò che non lo è, o è meno pericoloso;
- la limitazione al minimo del numero dei lavoratori che sono, o che possono essere, esposti al rischio;
- l'utilizzo limitato degli agenti chimici, fisici e biologici sui luoghi di lavoro;
- la priorità delle misure di protezione collettiva rispetto alle misure di protezione individuale;
- il controllo sanitario dei lavoratori;
- l'allontanamento del lavoratore dall'esposizione al rischio per motivi sanitari inerenti alla sua persona e l'adibizione, ove possibile, ad altra mansione;
- l'informazione e formazione adeguate per i lavoratori;
- l'informazione e formazione adeguate per dirigenti e i preposti;
- l'informazione e formazione adeguate per i rappresentanti dei lavoratori per la sicurezza;
- istruzioni adeguate ai lavoratori;
- la partecipazione e consultazione dei lavoratori;
- la partecipazione e consultazione dei rappresentanti dei lavoratori per la sicurezza;
- la programmazione delle misure ritenute opportune per garantire il miglioramento nel tempo dei livelli di sicurezza, anche attraverso l'adozione di codici di condotta e di buone prassi;



- le misure di emergenza da attuare in caso di primo soccorso, di lotta antincendio, di evacuazione dei lavoratori e di pericolo grave e immediato;
- l'uso di segnali di avvertimento e di sicurezza;
- la regolare manutenzione di ambienti, attrezzature, impianti, con particolare riguardo ai dispositivi di sicurezza in conformità alla indicazione dei fabbricanti.

2.6 Classificazione dei rischi per i lavoratori

I rischi possono essere di diversa natura e coinvolgere diversi soggetti ed entità. I rischi, infatti, possono riguardare le persone, l'ambiente e le macchine. Essi, dunque, possono essere individuali o collettivi e possono riguardare l'interno o l'esterno del sistema (ambiente di lavoro che si sta considerando).

Dal punto di vista dei lavoratori, essi sono soggetti a diversi rischi che possiamo raggruppare in tre macro categorie, come mostrato in Tabella 2.4.

Tabella 2. 4 – Categorie di rischio

Categoria	Denominazione	Elementi di rischio	Cause	Conseguenze
A) Rischi di natura infortunistica (strutturali, meccanici, elettrici, sostanze pericolose, esplosioni e incendi)	RISCHI PER LA SICUREZZA DOVUTI A:	Strutture Macchine Impianti Elettrici Sostanze pericolose Incendio - esplosioni	Da ricercare, nella maggioranza dei casi, in un non idoneo assetto delle caratteristiche di sicurezza inerenti: l'ambiente di lavoro; le macchine e/o le	Danni o menomazioni fisiche più o meno gravi in conseguenza di un impatto fisico-traumatico di diversa natura (meccanica, elettrica, chimica, termica, etc.)



Categoria	Denominazione	Elementi di rischio	Cause	Conseguenze
			apparecchiature utilizzate; le modalità operative; l'organizzazione del lavoro, etc.	
B) Rischi di natura igienico ambientale (agenti chimici, agenti fisici, agenti biologici, materiali cancerogeni e mutageni)	RISCHI PER LA SALUTE DOVUTI A:	Agenti Chimici Agenti Fisici Agenti Biologici	Da ricercare nella insorgenza di non idonee condizioni igienico - ambientali dovute alla presenza di fattori ambientali di rischio generati dalle lavorazioni, (caratteristiche e del processo e/o delle apparecchiature) e da modalità operative.	Compromissione dell'equilibrio biologico del personale, dovuto a fattori ambientali di rischio, di natura chimica, fisica e biologica
C) Rischi di tipo cosiddetto trasversale - salute dell'organizzazione (organizzazione del lavoro, fattori psicologici, fattori ergonomici, condizioni di lavoro difficili)	RISCHI PER LA SICUREZZA E LA SALUTE DOVUTI A:	Organizzazione e del lavoro Fattori psicologici Fattori ergonomici Condizioni di lavoro difficili	Tali rischi, sono individuabili all' interno della complessa articolazione che caratterizza il " rapporto " tra l' operatore e "l'organizzazione del lavoro" in cui è inserito.	Entrambe le conseguenze derivanti dai RISCHI PER LA SICUREZZA che per LA SALUTE

2.7 La normativa di riferimento: Il D. lgs 9 Aprile 2008 N.81

Il *Testo Unico Della Sicurezza*, il D. Lgs. 81/2008, vede la luce dopo quasi 30 anni dopo la legge 833/78 che lo prevedeva entro il 1979. È un testo complesso e ampio: 306 articoli, 13 titoli, 51 allegati. Il titolo I tratta delle disposizioni generali, quelli che vanno da II a XI dei rischi specifici, il XII e il XIII trattano le disposizioni finali e transitorie. Una novità, oltre all'accorpamento di leggi, è data dalle sanzioni che mentre prima nella legge 626 del 1994 (che rappresentava il riferimento normativo per la Sicurezza sul Lavoro prima dell'entrata in vigore del Testo Unico) erano riportate alla fine del testo in un paio di articoli adesso sono riportate alla fine di ogni titolo; inoltre queste ultime risultano praticamente triplicate rispetto a quelle presenti nelle normative precedenti. La struttura del decreto è impostata prima con la individuazione dei soggetti responsabili e poi con la descrizione delle misure gestionali e degli adeguamenti tecnici necessari per ridurre i rischi lavorativi:

- TITOLO I (art. da 1 a 61) e tre Allegati (da I a III) – disciplina i principi comuni a tutti i settori di attività rientranti nel campo di applicazione del Testo Unico(T.U.);
- TITOLO II (art. da 62 a 68) e Allegato IV – Luoghi di lavoro;
- TITOLO III (art. da 69 a 87) e cinque Allegati (da V a IX) – Attrezzature di lavoro e dispositivi di protezione individuale;
- TITOLO IV (art. da 88 a 160) e quattordici Allegati (da X a XXIII) – Cantieri temporanei o mobili;
- TITOLO V (art. da 161 a 166) e nove Allegati (da XXIV a XXXII) – Segnaletica di salute e sicurezza sul lavoro;
- TITOLO VI (art. da 167 a 171) e Allegato XXXIII – Movimentazione manuale dei carichi;
- TITOLO VII (art. da 172 a 179) e Allegato XXXIV – Attrezzature munite di videoterminali;



- TITOLO VIII (art. da 180 a 220) e tre Allegati (da XXXV a XXXVII) – Agenti fisici (rumore, vibrazioni, campi elettromagnetici, radiazioni ottiche artificiali);
- TITOLO IX (art. da 221 a 265) e sei Allegati (da XXXVIII a XLIII) – Sostanze pericolose (agenti chimici, agenti cancerogeni e mutageni, amianto);
- TITOLO X (art. da 266 a 286) e cinque Allegati (da XLIV a XLVIII) – Agenti biologici;
- TITOLO XI (art. da 287 a 297) e tre Allegati (da XLIX a LI) – Atmosfere esplosive;
- TITOLO XII (art. da 298 a 303) e Capi finali dei Titoli da I a XI – Disposizioni sanzionatorie;
- TITOLO XIII (art. da 304 a 306) – Norme transitorie e finali.

Il Testo Unico rappresenta la normativa a cui far riferimento in materia di salute e sicurezza nei luoghi di lavoro; esso nel corso del tempo ha poi subito diverse modifiche ed integrazioni.

Le principali novità sono le disposizioni introdotte da:

- Decreto Legislativo 3 agosto 2009, n. 106: disposizioni integrative e correttive del decreto legislativo 9 aprile 2008, n. 81, in materia di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro;
- Decreto Interministeriale 11 aprile 2011 (Verifiche periodiche attrezzature di lavoro);
- Decreto Interministeriale 30 novembre 2012 (Procedure Standardizzate per la valutazione dei rischi);
- Legge 24 dicembre 2012 n. 228 (Legge di Stabilità 2013).

2.8 La valutazione dei rischi e l'elaborazione del DRV

Il D. Lgs n. 81/2008 e s.m.i. ha imposto al datore di lavoro la *valutazione dei rischi* (obbligo non delegabile ad altri, art. 17, D. Lgs n. 81/2008) definita come “valutazione globale e documentata di tutti i rischi per la salute e sicurezza dei lavoratori presenti nell’ambito dell’organizzazione in cui essi prestano la propria attività finalizzata ad individuare le adeguate misure di prevenzione e di protezione e ad elaborare il programma delle misure atte a garantire il miglioramento nel tempo dei livelli di sicurezza”.

Nella nozione di “tutti i rischi” presente nel Testo Unico sono compresi anche quelli riguardanti “gruppi di lavoratori esposti a rischi particolari”. Attraverso la nuova disposizione viene fatto un passo in avanti in quanto il legislatore ha ulteriormente definito i *Rischi Particolari* specificando che ne risultano soggetti: i lavoratori esposti allo stress lavoro - correlato; le lavoratrici in stato di gravidanza; i lavoratori soggetti a rischi connessi alla differenza di genere, all’età, alla provenienza da altri Paesi.

Terminata la valutazione dei rischi il datore di lavoro deve elaborare e redigere un documento finale non delegabile: il Documento di Valutazione dei Rischi (*DVR*). Il documento deve avere data certa e contenere:

- Una relazione sulla valutazione di tutti i rischi per la sicurezza durante l’attività lavorativa, nella quale siano specificati i criteri adottati per la valutazione stessa;
- L’indicazione delle misure di prevenzione e protezione attuate e dei dispositivi di protezione individuali adottati a seguito della valutazione dei rischi;
- Il programma delle misure ritenute opportune per garantire il miglioramento nel tempo dei livelli di sicurezza;
- L’individuazione delle procedure per l’attuazione delle misure da realizzare;



- L'indicazione del nominativo del responsabile del servizio di prevenzione e protezione, del rappresentante dei lavoratori per la sicurezza o di quello territoriale e del medico competente che ha partecipato alla valutazione del rischio;
- L'indicazione delle mansioni che espongono i lavoratori a rischi specifici che richiedono una certa capacità professionale.

L'elaborazione del documento sulla valutazione dei rischi avviene la prima volta con l'avvio dell'attività lavorativa; successivamente, a seguito di una nuova valutazione dei rischi, deve essere elaborato in occasione di modifiche del processo produttivo o dell'organizzazione del lavoro significative ai fini della salute e della sicurezza dei lavoratori.

2.9 Gli attori della sicurezza

Il D. Lgs. 81/08 individua e descrive le principali figure che devono occuparsi di sicurezza e salute nei luoghi di lavoro. Esse sono:

- *Datore di lavoro*: il soggetto titolare del rapporto di lavoro con il lavoratore o, comunque, il soggetto che, secondo il tipo e l'organizzazione dell'impresa, ha la responsabilità dell'impresa stessa ovvero dell'unità produttiva in quanto titolare dei poteri decisionali e di spesa. Obblighi indelegabili del datore di lavoro sono: la valutazione di tutti i rischi, l'elaborazione del documento di valutazione dei rischi, l'aggiornamento della valutazione dei rischi in relazione a cambiamenti significativi dei processi produttivi, la designazione del Responsabile del Servizio di Prevenzione e Protezione, l'organizzazione di una riunione periodica di prevenzione e protezione dai rischi;



- *Dirigente*: il soggetto che impartisce direttive assommando in sé poteri, funzioni e responsabilità tali da poter essere considerato l'alter ego del datore di lavoro;
- *Preposto*: il soggetto al quale sono riservate solo funzioni di controllo e sorveglianza;
- *Il Servizio di Prevenzione e Protezione (SPP)*: definito come quell'insieme di persone, sistemi e mezzi esterni o interni all'azienda finalizzato all'attività di prevenzione e protezione dai rischi professionali nell'azienda. I principali compiti dell'SPP sono: individuare i fattori di rischio dell'ambiente di lavoro e dei processi produttivi e predisporre le misure di sicurezza da adottare per eliminarli o ridurli; coadiuvare il datore di lavoro nella effettuazione della valutazione dei rischi e nella elaborazione del relativo documento; proporre programmi di informazione e formazione, generale e specifica, dei lavoratori; curare il costante miglioramento della sicurezza dei posti e dei luoghi di lavoro. Il responsabile e gli addetti al SPP vengono scelti dal datore di lavoro tra i dipendenti a patto che questi siano in possesso di capacità e di requisiti professionali adeguati, in caso contrario si ricorre a servizi esterni, previa consultazione del Rappresentante per la Sicurezza.
- *Rappresentante dei Lavoratori per la Sicurezza (RLS)*: il soggetto che esplica in ambito aziendale la funzione di garante dei diritti dei lavoratori alla sicurezza, è eletto o designato dai lavoratori con modalità diverse a seconda del numero di dipendenti dell'azienda (fino a 15 dipendenti può essere eletto direttamente dai lavoratori al suo interno, oltre i 15 dipendenti deve essere eletto dai lavoratori nell'ambito delle rappresentanze sindacali in azienda). Il numero minimo di rappresentanti per la sicurezza è di: n. 1 per aziende fino a 200 dipendenti; n. 3 per aziende tra i 201 ed i 1000 dipendenti; n. 6 in tutte le altre aziende. Il RLS ha accesso ai posti ed ai luoghi di lavoro

nonché ad ogni documentazione aziendale relativa alla sicurezza dei lavoratori; è consultato preventivamente in ordine a qualsiasi programma, valutazione, nomina o designazione, che abbiano attinenza diretta con la sicurezza; riceve le informazioni provenienti dai servizi di vigilanza; avverte il responsabile aziendale dei rischi individuati nel corso della sua attività, fa proposte in tema di prevenzione e partecipa alle riunioni periodiche aziendali sulla sicurezza. L'RLS può far ricorso alle Autorità competenti qualora ritenga che le misure di prevenzione ed i mezzi impiegati per attuarle non siano idonei a garantire la sicurezza e la salute dei lavoratori e non può subire pregiudizio per lo svolgimento della propria attività.

- *Il Medico Competente*: il soggetto a cui vengono attribuiti i seguenti compiti: disporre l'effettuazione di accertamenti sanitari preventivi, al momento dell'assunzione o per cambio mansione, del lavoratore per constatare se lo stato di salute è compatibile con il compito assegnatogli; fornire informazioni ai lavoratori esposti ad agenti con effetti a lungo termine sulla necessità di sottoporsi ad accertamenti sanitari anche dopo la cessazione dell'attività comportante l'esposizione a tali agenti; comunicare al RLS, in occasione delle riunioni periodiche, i risultati anonimi e collettivi degli accertamenti clinici e strumentali effettuati e fornire indicazioni sul significato di detti risultati; effettuare le visite mediche richieste del lavoratore, sempre che esse siano giustificate dai rischi connessi all'attività lavorativa espletata; visitare gli ambienti di lavoro insieme al responsabile del SPP almeno due volte all'anno.
- *Addetti al pronto soccorso*: coloro che, disponendo di adeguate attrezzature nonché di una specifica formazione durante l'orario di lavoro, devono gestire il primo soccorso di un collega in caso di malore o di infortunio.



- *Addetti alla prevenzione incendi, lotta antincendio e gestione delle emergenze.*
- *Lavoratori:* ai lavoratori è espressamente richiesto di aver cura della sicurezza e della salute, propria e delle altre persone presenti sul luogo di lavoro, in particolare essi devono: osservare le disposizioni e le istruzioni impartite dal datore di lavoro, dai dirigenti e dai preposti; utilizzare correttamente i macchinari, le apparecchiature, gli utensili, le sostanze ed i preparati pericolosi ed i mezzi di trasporto; utilizzare in modo appropriato i dispositivi di protezione messi a loro disposizione; segnalare immediatamente al proprio preposto o dirigente le disfunzioni o le carenze delle attrezzature o dei dispositivi di sicurezza in dotazione; non rimuovere, modificare o disattivare i dispositivi di sicurezza, di segnalazione o di controllo; adoperarsi nei limiti delle proprie competenze e possibilità per eliminare o circoscrivere in caso di emergenza le situazioni di pericolo; non compiere di propria iniziativa operazioni o manovre non di loro competenza; sottoporsi a controlli sanitari loro prescritti; contribuire, insieme alle altre figure aziendali, all'adempimento di tutti gli obblighi imposti dall'autorità competente o comunque necessari per tutelare la sicurezza e la salute; partecipare con profitto e diligenza alle iniziative aziendali di informazione, addestramento e formazione in materia di sicurezza.

Hanno il diritto di: astenersi dal riprendere l'attività lavorativa nelle situazioni in cui persista un pericolo grave ed immediato; allontanarsi in caso di pericolo grave che non può essere evitato; essere sottoposti a visite mediche personali; ricevere informazioni e formazione adeguate in materia di prevenzione e protezione.



2.10 I costi della sicurezza e della non sicurezza

Quello della sicurezza sul lavoro è sicuramente un problema di gravità tale da dover essere affrontato andando al di là di una semplice analisi costi-benefici. Tuttavia, come rileva l'Agenzia europea per la sicurezza e la salute sul lavoro, “il miglioramento della salute e della sicurezza sul lavoro è importante non soltanto dal punto di vista umano, perché diminuisce il dolore e la sofferenza dei lavoratori, bensì anche da una prospettiva economica, perché contribuisce a garantire il successo e la sostenibilità delle imprese nonché, nel lungo termine, il proliferare delle economie”.

Questo vuol dire che migliorare la sicurezza dei luoghi di lavoro può essere anche economicamente vantaggioso.

2.10.1 I costi della sicurezza

Gli studi condotti in materia di ingegneria della sicurezza rivelano che il raggiungimento di sufficienti livelli di sicurezza del lavoro richiede il sostenimento di costi, spesso piuttosto ingenti ed articolati su di un gran numero di voci.

È infatti necessario che tutte le strutture, gli impianti ed i macchinari siano o vengano resi conformi a quanto previsto da tutte le disposizioni di legge in vigore, ma anche che siano mantenute in questa condizione, attraverso un appropriato piano di manutenzione. Tutto ciò, oltre a richiedere cospicue spese di realizzazione e/o di messa a norma, comporta anche la necessità di notevoli sforzi e costi organizzativi. La gestione della sicurezza in una qualunque azienda deve infatti essere supportata da una ramificata struttura organizzativa, costituita da un gran numero di figure quali datore di lavoro, RSPP, ASPP, medico competente, RLS, etc.



Da non sottovalutare infine i costi associati alla necessità di rispettare rigorose procedure operative volte a contrastare la possibilità che si verifichino infortuni relativi alle cosiddette “azioni pericolose”.

2.10.2 I costi della non sicurezza

Una scarsa attenzione verso i problemi della sicurezza e quindi il possibile verificarsi di incidenti e infortuni, comporta per l'azienda una serie di costi. Di questi costi viene spesso e con una certa superficialità considerata solo la parte che si rende palese e che è legata per lo più ad assenza dell'infortunato ed alla necessità di riparare eventuali danni ad impianti e macchinari.

Ad incidere prevalentemente è spesso però tutta una serie di “costi nascosti”, ovvero costi che, almeno in un primo momento, tendono ad essere sottovalutati o addirittura a non essere considerati affatto. Tra questi rientrano costi per interruzione dell'attività lavorativa, per questioni legali (sequestri, spese processuali, responsabilità civili e penali del datore di lavoro, etc.), per l'iniziale minor rendimento del nuovo personale chiamato a sostituire l'infortunato, per danni all'immagine aziendale, etc.

Un'approfondita analisi costi-benefici, che tenga conto di tutti questi aspetti, rivelerà così l'importanza economica, oltre che etico - sociale e legale, di riservare la giusta attenzione e di intraprendere i necessari investimenti in materia di sicurezza dei luoghi di lavoro.

2.11 La Cultura della Sicurezza

Da quanto osservato sino ad ora si può notare come sia cambiato il modo di concepire la sicurezza negli ambienti di lavoro. Si è passati dal semplice

adempimento legislativo ad una vera e propria presa di coscienza dell'importanza del coinvolgimento di tutte le figure presenti nell'attività lavorativa che ha portato allo sviluppo di quella che si può definire *Cultura positiva della sicurezza*; essa si fonde con il concetto di *cultura organizzativa*, la quale è considerata il più grande affare manageriale [30]. Considerando il punto di vista di *Martin* [31], acquisiamo diverse prospettive della cultura organizzativa come:

- **l'integrazione;**
- **la differenziazione;**
- **la frammentazione.**

L'*integrazione* sottolinea l'unità e la coerenza delle assunzioni culturali; la *differenziazione* descrive notevoli difformità che esistono nelle manifestazioni culturali, le quali rendono molto spesso difficile il raggiungimento del consenso. La *frammentazione*, invece, focalizza l'ambiguità, ovvero la molteplicità delle interpretazioni che non si fondono in un consenso stabile.

Schein interviene sull'argomento definendo la cultura organizzativa come “lo schema di assunti fondamentali che un certo gruppo ha inventato, scoperto o sviluppato mentre imparava ad affrontare i problemi legati al suo adattamento esterno o alla sua integrazione interna, e che hanno funzionato in modo tale da essere considerati validi e quindi degni di essere insegnati ai nuovi membri come il modo corretto di percepire, pensare e sentire in relazione a tali problemi” [32].

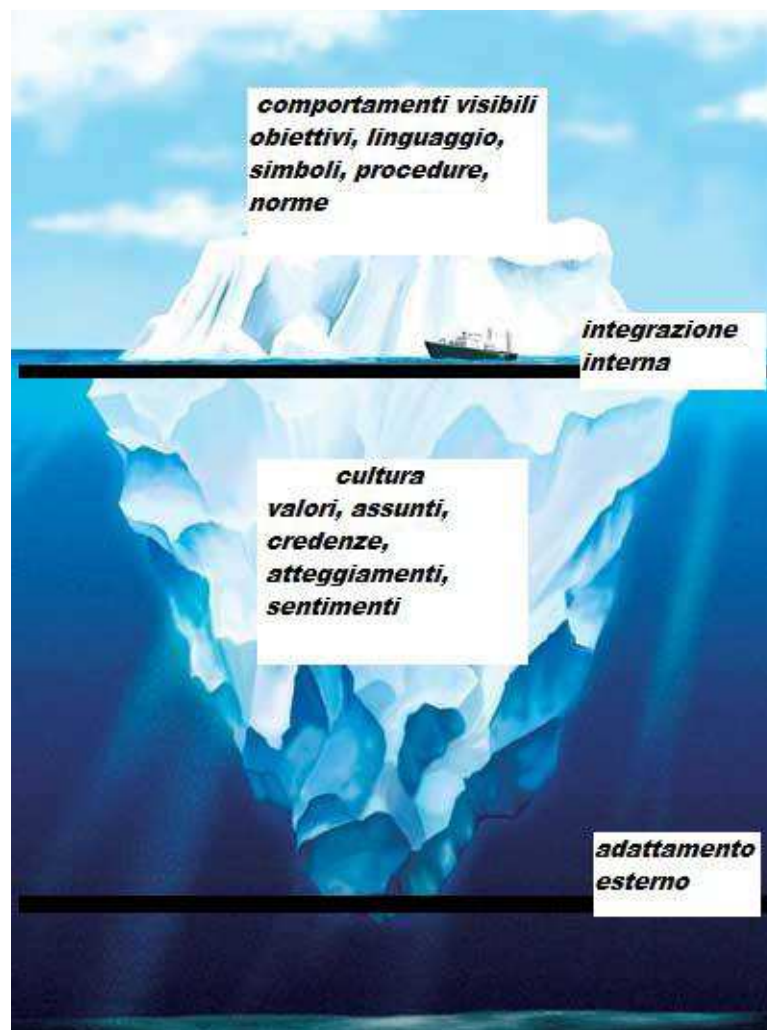


Figura 2. 19 - La Cultura Organizzativa secondo Schein

Secondo *Reason*, la cultura organizzativa coglie l'essenza dei valori condivisi e delle idee che interagiscono tra le persone dell'azienda e delle funzioni delle strutture organizzative e i sistemi di controllo per la produzione di norme comportamentali [33]. Stando a *Cooper*, la cultura organizzativa riflette "la condivisione dei comportamenti, credenze, atteggiamenti e valori, in relazione agli obiettivi organizzativi, funzionali e procedurali" [34]. In base a quanto definito possiamo dire che la cultura organizzativa è *l'interazione tra l'organizzazione e gli individui, dove il comportamento del*



dipendente può cambiare attraverso l'iterazione reciproca di quest'ultimo con il sistema operativo aziendale [35].

La cultura della sicurezza può essere vista come una componente della cultura organizzativa ed è in riferimento all'individualità, ai lavori, alle caratteristiche organizzative che afferiscono alla salute e alla sicurezza dei lavoratori. Essa può essere intesa come quell'insieme di credenze, norme, atteggiamenti e pratiche, sia sociali che tecniche, indirizzate a minimizzare l'esposizione a condizioni considerate come pericolose.

L'obiettivo per una cultura positiva della sicurezza è quello di creare una situazione dove i lavoratori sono a conoscenza dei rischi nei luoghi dove lavorano, sono continuamente in guardia contro di loro [36] e possono evitare di prendere in considerazione qualsiasi azione non sicura. In questo modo, la cultura della sicurezza può essere considerata come un importante strumento di gestione, contribuendo ad accertare le conoscenze della forza lavoro, gli atteggiamenti e i comportamenti in materia di sicurezza. Molti sono stati i possibili tentativi di definizione per la cultura della sicurezza, che risultavano spesso ampi e impliciti. Tra questi possiamo ricordare i contributi di Cooper (2000), Cox & Cox (1991) [37], Wallace & Neal (2000) [38], Wiegmann, Zhang, Von Thaden, Sharma & Mitchell (2002) [39]. Nonostante ciò, è possibile trovare aspetti comuni che ci permettono di proporre la seguente definizione per la cultura positiva della sicurezza: *un insieme di valori, percezioni, atteggiamenti e modelli di comportamento in materia di sicurezza condivisa dai membri dell'organizzazione, come un insieme di politiche, pratiche e procedure relative alla riduzione della esposizione dei lavoratori ai rischi professionali, attuata a tutti i livelli dell'organizzazione, riflettendo un alto livello di preoccupazione e impegno per la prevenzione degli infortuni e malattie [40].*



Tre sono i fattori considerati di notevole importanza per lo studio di tale cultura: il coinvolgimento dei lavoratori, l'impegno di gestire la sicurezza e le norme e procedure. La triplice integrazione di queste va a determinare la cultura della sicurezza.

Se da un lato il datore di lavoro ha il dovere di offrire luoghi di lavoro in cui i rischi per la salute e la sicurezza siano adeguatamente controllati, dall'altro la legge impone anche ai dipendenti l'obbligo di contribuire in tal senso. Inoltre, i datori di lavoro sono tenuti a coinvolgere i lavoratori ed i loro rappresentanti perché l'azienda non può avere una soluzione a tutti i problemi di salute e di sicurezza mentre essi, avendo conoscenze dettagliate e la giusta esperienza riguardo l'attività lavorativa che svolgono ed in che modo quest'ultima può nuocere alla loro salute, possono indicare la soluzione ottimale per minimizzare i rischi. È statisticamente provato che i luoghi di lavoro in cui vi siano lavoratori coinvolti in materia di sicurezza registrano percentuali inferiori di rischi occupazionali e di infortuni sul lavoro.

Accanto al coinvolgimento riveste una notevole importanza anche la formazione e l'informazione dei lavoratori. Infatti anche le migliori soluzioni in materia di prevenzione e protezione risultano essere inefficaci qualora avvengano comportamenti inappropriati.

Con questo processo di informazione – formazione - coinvolgimento i lavoratori si sentono:

- in grado di fornire consulenza e suggerimenti, nonché richiedere miglioramenti, contribuendo in tal modo allo sviluppo di misure di prevenzione dagli incidenti e dalle malattie professionali in modo tempestivo e vantaggioso in termini di costi;
- responsabilizzati nella ricerca della soluzione migliore;
- motivati ad assumere comportamenti adeguati durante l'attività lavorativa.



L'adozione di metodi preventivi alternativi, come ad esempio il ricorso alla simulazione - argomento che verrà trattato approfonditamente nel seguito - hanno un forte impatto sull'apprendimento del lavoratore perché gli permettono di visualizzare le conseguenze di una situazione di rischio rispetto alla semplice lettura delle disposizioni regolamentari. Allo stesso tempo la simulazione permette una sensibile riduzione dei costi perché poter simulare un processo o un qualsiasi altro avvenimento prima che esso si verifichi permette di effettuare le scelte più appropriate ed apportare le ottimizzazioni già in fase di progetto con evidenti risparmi di tempi e di costi.

2.12 Safety Management System

Il Safety Management System o SMS (Sistema di gestione della sicurezza) è un termine utilizzato in diversi campi per indicare un piano per gestire la sicurezza all'interno di un'entità complessa come una generica azienda⁴, un aeroporto o anche una nave e può essere definito come: *“la forma più completa ed integrata dell'approccio della sicurezza messo in atto in un'organizzazione nei confronti della prevenzione, gestione e contenimento di occorrenze negative, eventi di pericolo, non-conformità e incidenti che si possono verificare nella vita e nei processi produttivi di un sistema”*.

La corretta esecuzione del SMS consente di raggiungere gli obiettivi previsti da importanti riferimenti (come il codice ISM⁵) e consiste nell'avere una politica per la sicurezza e la protezione ambientale e nel dichiarare quali obiettivi intende perseguire (quelli del codice, più eventuali altri non in contrasto con il codice stesso), definire le priorità, descrivere risorse, disposizioni organizzative, controlli da utilizzare, avere istruzioni e procedure

⁴ Organizzazione di uomini e mezzi finalizzata alla soddisfazione di bisogni umani attraverso la produzione, la distribuzione o il consumo di beni economici.

⁵ Codice internazionale per la gestione della sicurezza delle operazioni delle navi.



per assicurare la gestione in sicurezza e la protezione dell'ambiente conformi alle norme internazionali e nazionali. Il sistema di lavoro del SMS deve essere messo per iscritto (mediante un documento) e controllato. Tali documenti devono essere disponibili sia in ufficio che nell'eventuale azienda. Il documento utilizzato per descrivere e implementare il sistema di gestione della sicurezza è denominato Manuale di Gestione della Sicurezza. L'accertamento se le attività previste dall'SMS ed i relativi risultati soddisfano le disposizioni pianificate e se queste disposizioni vengono applicate efficacemente e sono adatte per il raggiungimento degli obiettivi è rimesso all'organizzazione autorizzata a mezzo Audit (verifica), da parte di una persona indipendente qualificata Auditor (verificatore). A ogni azienda che soddisfi le norme deve essere rilasciato dall'Amministrazione un Certificato di gestione della sicurezza (Safety Management Certificate - SMC) e a ogni società deve essere rilasciato un Documento di Conformità (Document of Compliance - DOC) con validità quinquennale. Il responsabile ha l'autorità dell'applicazione del Sistema e inoltre ha l'autorità e la responsabilità di prendere decisioni relativamente alla sicurezza ed alla protezione ambientale.

2.13 Componenti principali di un SMS

Le componenti principali di un SMS sono:

- *La politica di sicurezza e gli obiettivi istituzionali* - Le politiche e gli obiettivi forniti dal management e la promozione della sicurezza forniscono il quadro di riferimento, nonché il sostegno e la garanzia che le attività operative di base di sicurezza e di gestione del rischio possano essere condotte in modo efficace ed indipendente. La politica indica la visione, i valori essenziali e le convinzioni dell'azienda sul tema della SSL (sicurezza sul lavoro) e serve a definire la direzione, i principi

- d'azione e i risultati a cui tendere ed esprime l'impegno del vertice aziendale nel promuovere nel personale la conoscenza degli obiettivi, la consapevolezza dei risultati a cui tendere, l'accettazione delle responsabilità e le motivazioni. La politica aiuta a dimostrare, verso l'interno l'impegno dell'azienda alla tutela della salute e sicurezza dei lavoratori e, verso l'esterno, che esiste un impegno concreto dell'azienda in tema di salute e sicurezza sul lavoro, che si privilegiano le azioni preventive e che l'organizzazione aziendale tende all'obiettivo del miglioramento continuo. Nella consapevolezza che tali obiettivi sono raggiungibili solo con la piena e convinta partecipazione di tutti, richiama l'attenzione sull'importanza della collaborazione di tutti per il raggiungimento di un efficace SGSL, ricordando che la responsabilità dello stesso coinvolge tutti in prima persona, ciascuno secondo le proprie attribuzioni e competenze, dalla Direzione Generale al singolo lavoratore;
- *L'analisi e la gestione del rischio* - Nessuna azienda modernamente gestita ha interesse nell'ignorare una situazione di rischio prevedibile. La conoscenza dei rischi potenziali è il passo fondamentale verso la loro soluzione. Fino all'avvento della rivoluzione industriale i rischi erano fatti risalire a quattro cause principali: **naturali** (terremoti, allagamenti, fulmini etc.), **tecnologici** (crolli di ponti, case, dighe etc.), **individuali** (ferimenti, malattie, cadute etc.), **collettivi** (guerre, carestie etc.). Alla luce delle limitate conoscenze scientifiche i rischi collegati alla tecnologia erano sufficientemente gestiti mediante misure di prevenzione semplici pur se efficaci. Con l'avvento della società industriale i rischi diventano più numerosi e qualitativamente più articolati, quindi appare necessario cambiare approccio. Quando i rischi diventano, **numerosi, complessi, interrelati**, l'identificazione deve procedere attraverso un percorso chiaro, sistematico, rigoroso, utilizzando adeguati "strumenti di indagine". Gli strumenti di indagine devono rappresentare: modelli di analisi e scomposizione di realtà complesse, metodiche di ricerca e

“riclassificazione” di dati ed informazioni che si presentano in modo disarticolato, logiche di approccio da imparare con semplici esempi per poi applicarle a qualunque situazione complessa. Le tecniche di Analisi di Rischio, come strumenti di indagine, diventano in sostanza un prerequisito per una corretta gestione dei rischi, per conoscere i rischi al fine di gestirli con efficacia, per rimuovere o ridurre i fattori di insuccesso, per ridurre i costi totali del rischio e per evitare sorprese;

- *La valutazione dei pericoli e della sicurezza reale* - Valuta la costante efficacia delle strategie di controllo del rischio implementate e sostiene l’identificazione di nuovi rischi;
- *La promozione della sicurezza in seno all’organizzazione* - Include formazione, comunicazione, e altre azioni per creare una cultura positiva della sicurezza in tutti i livelli della forza lavoro. Le attività di promozione della sicurezza in ottica del SMS includono: fornire una formazione sul SMS, promuovere/rafforzare una cultura positiva della sicurezza, fornire una comunicazione e sensibilizzazione sul sistema e sulla sicurezza, garantire una corrispondenza dei requisiti di competenza ai requisiti di sistema, diffondere le lezioni di sicurezza apprese.

2.14 Ciclo di Deming

Organizzare la Sicurezza significa, oltre ad intraprendere azioni volte al rispetto delle norme, affrontarne le tematiche secondo i moderni schemi gestionali.

L’eccellenza gestionale presuppone l’ottimizzazione delle condizioni di sicurezza e salute dell’impresa che può essere ottenuta implementando i Sistemi di Gestione della Sicurezza, i cui requisiti sono fissati dalla norma internazionale OHSAS 18001.

Il funzionamento di un sistema di gestione della salute e sicurezza sul lavoro (SGSL) è rappresentato dalla “**ruota o ciclo di Deming**” che prevede le 4 fasi del ciclo: Plan, Do, Check, Act. Si presenta una breve sintesi delle teorie di Deming, enucleando alcuni principi base ed illustrandoli: “*La produzione deve essere vista come un sistema che comprende tutti coloro che interagiscono nell’erogazione del servizio: operatori e utenti*”.



Figura 2. 20 - Rappresentazione ciclo di Deming

Il cliente - utente è la parte più importante del processo di erogazione del servizio, che senza di lui non ha ragione di esistere. Le organizzazioni devono instaurare rapporti di collaborazione sia con i clienti sia con i fornitori per il miglioramento continuo del servizio offerto e per la riduzione degli errori e degli insuccessi. Qualsiasi processo può essere visto come un ciclo che ha quattro momenti:

- ✓ *Plan* (progettare, pianificare): partendo dall’analisi e valutazione dei rischi correlati alle attività svolte, l’azienda definisce una politica per la sicurezza e pianifica le azioni per raggiungere gli obiettivi prefissati;
- ✓ *Do* (agire, realizzare): consiste nell’attuazione e nel funzionamento delle azioni pianificate secondo le tempistiche definite dalla

pianificazione;

- ✓ *Check* (controllare): consiste nella verifica del raggiungimento degli obiettivi prefissati e nell'apertura di azioni correttive in risposta ad eventuali difformità rispetto a quanto stabilito dalla pianificazione;
- ✓ *Act* (stabilizzare o correggere e riavvio del ciclo di intervento): consiste nel riesame del sistema di gestione implementato e nel programmare le basi e gli obiettivi su cui costruire il ciclo successivo.

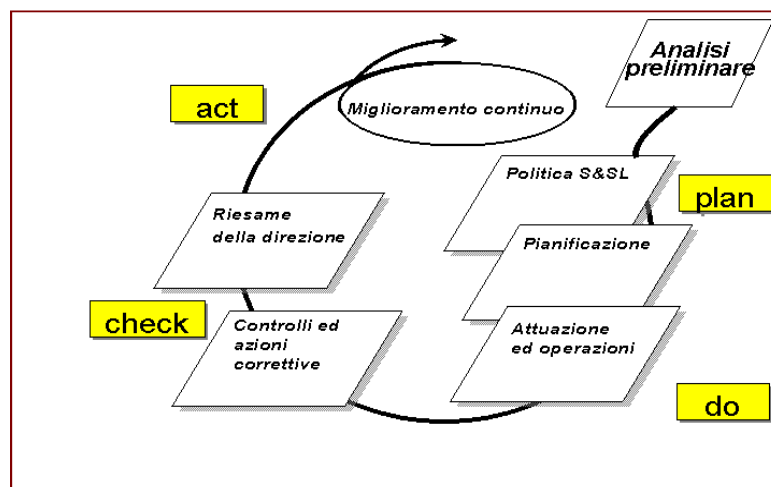


Figura 2. 21 – Rappresentazione a spirale del ciclo di Deming

Proprio nella ciclicità del modello del sistema di gestione della sicurezza è insito il miglioramento continuo. Un sistema di gestione della sicurezza per essere efficiente deve essere implementato e definito sulla realtà dell'azienda, considerando gli effettivi margini di miglioramento della sicurezza che devono però conciliarsi con le imposizioni legislative cogenti in materia.

Adottare un SGSL significa disporre di uno strumento per:

- conoscere e mantenere sotto controllo gli aspetti della sicurezza connessi alle attività svolte;
- individuare le prescrizioni legali cogenti della sicurezza e volontarie e recepirle correttamente ed integralmente;



- stabilire e mantenere precise responsabilità;
- adottare le procedure necessarie per la gestione operativa della sicurezza e il monitoraggio dei fattori di rischio;
- individuare e soddisfare le necessità di formazione;
- ridurre al minimo i rischi aziendali coinvolgendo le parti interessate del processo di miglioramento.

I principali vantaggi nell'implementazione di un Sistema di Gestione della Salute e Sicurezza sul Lavoro sono:

- Consente di attuare uno strumento utile per garantire l'osservanza non solo formale delle numerose norme tecniche e giuridiche che regolano la materia assicurando le parti interessate (Enti di controllo, lavoratori) che tutti gli aspetti legati alla sicurezza siano gestiti secondo le modalità prescritte dalle leggi vigenti e secondo le migliori prassi disponibili;
- Consente all'azienda di ottenere risparmi economici legati alla riduzione dei premi pagati all'INAIL per i propri dipendenti;
- Consente all'azienda di ottenere risparmi economici e di tempo legati ad una riduzione degli infortuni, i cui costi, a volte nascosti, possono incidere in maniera non indifferente, e ad una riduzione della pressione esercitata sull'azienda da parte degli organi di controllo.

2.15 Principi base del Risk Safety Management

I principi base del “Risk Safety Management” prevedono di affrontare l'eliminazione/riduzione di ciascun rischio seguendo una sequenza logica definita:

1. **Eliminare:** il primo obiettivo è quello di prevenire, generalmente attraverso la progettazione, l'esistenza della condizione d'insicurezza o dell'innescò dell'evento, eliminandone di conseguenza anche l'effetto;
2. **Ridurre:** nel caso in cui quanto visto al punto 1 non produca gli effetti desiderati, ovvero dia luogo ad una riduzione di rischio non accettabile oppure non sia ragionevolmente possibile, si dovranno studiare dispositivi di sicurezza e/o protezioni adatti a fronteggiare i pericoli residui;
3. **Trasferire:** se permangono ancora rischi residui, è necessario considerare con quali modalità "trasferire" il rischio, ad esempio subappaltando ad un terzo le attività che introducono il rischio, ad una compagnia assicurativa (mediante una polizza adeguata), oppure, nel caso di un prodotto, all'utilizzatore, informandolo del rischio intrinseco attraverso libretti di istruzioni, cartellonistica, avvisi etc. che spieghino la natura del pericolo e come evitarne le conseguenze.

Mentre la prima fase cerca di evitare o di eliminare completamente la causa e, come risultato l'effetto, la seconda e la terza fase accettano il fatto che un evento o una condizione d'insicurezza possano esistere. In tutti i casi occorre verificare che le azioni correttive individuate non comportino, una volta introdotte, a loro volta problemi di carattere operativo o di sicurezza.

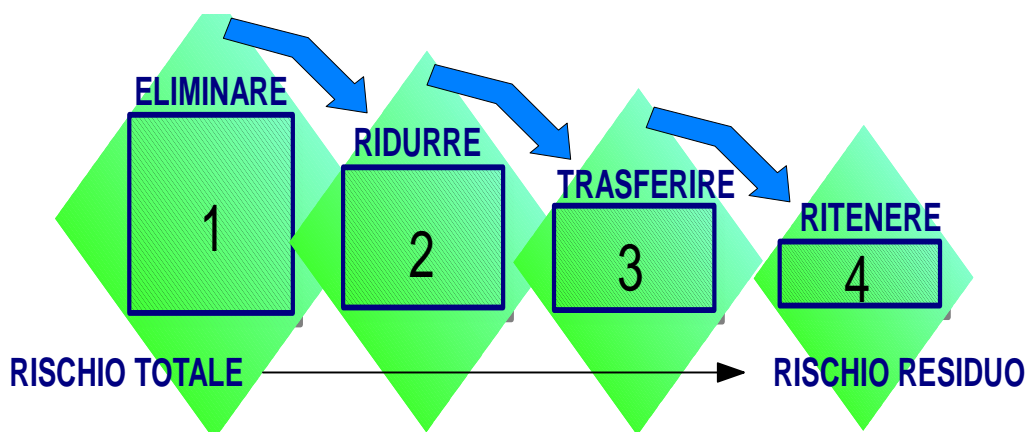


Figura 2. 22 - Sequenza logica per la eliminazione/riduzione dei rischi

2.16 Approcci Operativi al SMS

Gli approcci operativi principali di un Safety Management System prevedono l'applicazione di metodologie e tecniche ampiamente consolidate e già applicate in molti domini tecnologici avanzati quali, ad esempio, la produzione di energia, il trattamento di prodotti chimici e gli impianti di processo.

In un SMS, si possono identificare quattro approcci fondamentali:

- *Analisi prospettiche di sicurezza;*
- *Analisi retrospettive di sicurezza;*
- *Audit di sicurezza;*
- *Gestione delle emergenze;*

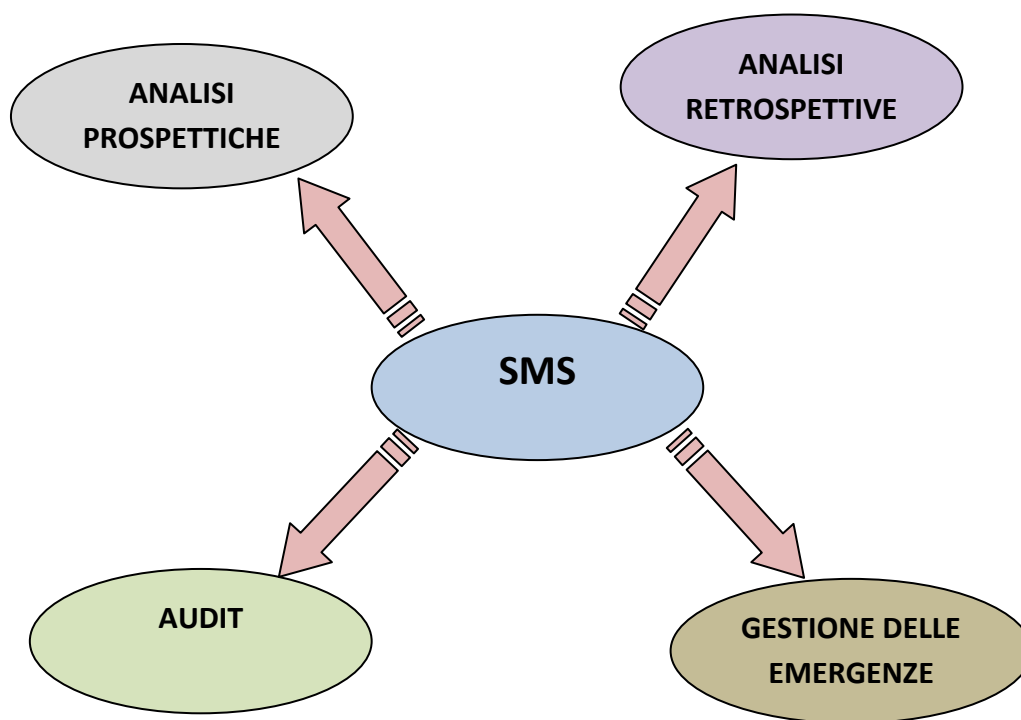


Figura 2. 23 - Approcci fondamentali SMS

2.16.1 Analisi prospettiche di sicurezza

Queste analisi sono sviluppate in ottica predittiva e richiedono l'implementazione di modelli e simulazioni capaci di descrivere il comportamento di un sistema che opera in condizioni di anormalità. Tale tipologia di analisi viene definita come analisi di sicurezza prospettica.

L'analisi di sicurezza prospettica consiste in una valutazione capace di predire ed anticipare preventivamente le conseguenze di interazioni sistemiche, dati alcuni eventi iniziatori e condizioni al contorno.

Determinati eventi iniziatori e possibili condizioni al contorno, danno così origine a valori precisi da inserire nella Matrice di Rischio, sapendo il livello di sicurezza cui si valuta di operare quando si implementano determinate barriere.

2.16.2 Analisi retrospettive di sicurezza

Per poter effettuare simulazioni appropriate per tali scenari sono necessari dati e correlazioni adeguate a descrivere il sistema in maniera consistente. Tali dati devono essere specifici al sistema in corso di valutazione e devono essere appropriati per i modelli e simulazioni adottati.

Per ottenere i dati necessari sono indispensabili: analisi di letteratura in materia di componentistica, lo studio dei compiti e delle procedure operative, la valutazione degli effettivi contesti lavorativi e sociali in cui si svolgono i compiti degli operatori del sistema, nonché lo studio degli eventi di non-conformità avvenuti nel sistema in periodi operativi precedenti l'analisi in corso.

Questa tipologia di analisi viene definita come analisi di sicurezza retrospettiva:



L'analisi retrospettiva consiste nella valutazione di eventi che coinvolgono "incidenti", "inconveniente gravi" o "quasi incidenti" ovvero circostanze di "non-conformità" operative, con l'obiettivo di trovare le ragioni fondamentali e le cause ("root causes") che li hanno promossi.

Per potere effettuare tali tipi di analisi e valutazioni è indispensabile avere come riferimento un modello del sistema. Inoltre, affinché i dati ottenuti da analisi retrospettive possano essere utilizzati a fini predittivi/prospettici è necessario che i modelli utilizzati per tali tipologie di analisi siano "simili", cioè tali da sfruttare e richiedere le stesse famiglie di dati.

Pertanto, le procedure per lo sviluppo di analisi prospettiche e retrospettive presentano alcuni elementi comuni ma contengono anche importanti differenze.

Le differenze consistono principalmente negli obiettivi fondamentali dei due approcci e in alcuni metodi specifici. In studi prospettici, l'analista deve cercare di prevedere e valutare quali possono essere le conseguenze di certi eventi iniziatori e condizioni al contorno critiche per la "sicurezza", speculando in modo creativo sulla propria esperienza e abilità di analista. Nelle valutazioni retrospettive, è fondamentale comprendere la lezione ed estrarre le informazioni essenziali dagli eventi del passato attraverso metodi consolidati di analisi della causa a avendo cura di conoscere la realtà operativa di un impianto. Ciò si ottiene attraverso lo studio delle procedure e dei compiti degli operatori, delle specifiche funzionalità dei vari sistemi e sottoinsiemi ed infine osservando sul campo il comportamento e le pratiche operative in atto nella gestione reale dell'impianto.

Ogni organizzazione applica metodi e tecniche al fine di raccogliere informazioni relative ad avvenimenti di non-conformità, con lo scopo di valutare il livello di sicurezza e cercare soluzioni per ridurre i potenziali rischi. In questo processo l'analista deve applicare i concetti di ricerca delle cause primarie (root causes analysis) e come primo passo strutturare l'occorrenza in

eventi attraverso “Event time line”; gli eventi costituenti l’occorrenza, una volta organizzati, vengono esaminati e ne si valuta la gravità e la frequenza rispetto ad un intervallo di tempo definito.

Si ricorda che l’Occorrenza è intesa come “l’incidente o inconveniente” nella sua globalità, mentre l’evento è una realtà visibile e misurabile o una azione umana tale da indurre il sistema ad evolvere da uno stato “A” ad un altro “B”, dove A e B non sono in condizioni di esercizio normali. In taluni casi però quando l’Occorrenza è costituita di un unico Evento le due definizioni si sovrappongono.

La definizione logico - analitica dell’occorrenza richiede un lavoro di apprendimento e studio di ciò che è avvenuto che, alle volte, richiede l’uso dei documenti e rapporti raccolti al di là di quanto riportato in sede di implementazione dei dati iniziali. Vengono effettuati 4 passaggi fondamentali:

- *Individuazione degli Eventi;*
- *Event Time Line;*
- *Eventi iniziatori o scatenanti ed Eventi conseguenza;*
- *Eventi positivi ed Eventi negativi.*

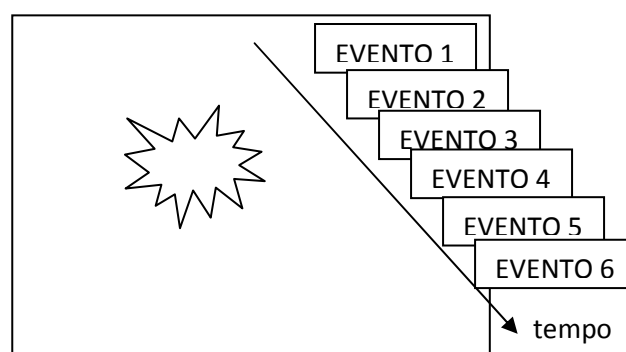


Figura 2. 24 - Occorrenza ed eventi

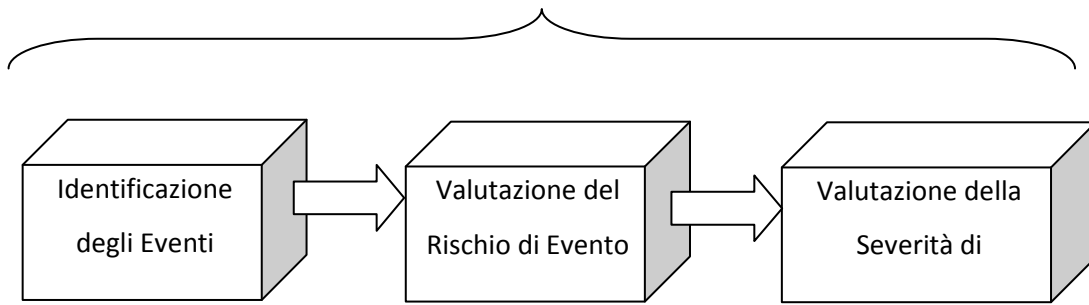


Figura 2. 25 - Schema di valutazione delle severità di occorrenza

Questa tecnica rappresenta uno strumento analitico per lo studio della sicurezza e dell'efficienza di una organizzazione risultanti dai dati raccolti attraverso segnalazioni interne di eventi di non conformità ed occorrenze per le quali è obbligatorio effettuare un rapporto scritto.

L'efficacia e l'efficienza di questo processo dipendono da aspetti organizzativi di natura non tecnica:

- **non-punibilità** del processo di reporting;
- **quantità e qualità dei dati**;
- **corretta analisi** dei dati stessi.

Un altro elemento essenziale è la combinazione dei dati con altre fonti (ad es.: valutazione dei processi del lavoro e le operazioni sul campo) e uso della MdR (matrice di rischio) correlata con indagini prospettiche.

2.16.3 Audit di sicurezza

L'audit di sicurezza ha come obiettivo primario la stima della conformità esistente in un'organizzazione rispetto alle norme e standard di sicurezza e ai livelli attesi e valutati in sede di progetto. Questi tipi di indagine rappresentano la parte del SMS comune al Safety Manager e al Quality Manager e, per una loro corretta implementazione, è indispensabile e necessario che queste due figure istituzionali collaborino efficacemente.

2.16.4 Gestione delle emergenze

La gestione delle emergenze è un capitolo molto specifico e a sé stante del sistema SMS, che si concentra sulla gestione del “dopo-incidente” più che sugli aspetti peculiari della gestione della sicurezza, cioè la prevenzione, il recupero della normalità o il contenimento delle conseguenze. I metodi di gestione di un'emergenza richiedono l'implementazione e l'uso di metodologie e tecniche che esulano dai contenuti di questo capitolo, come ad esempio: comunicazione ai media; gestione delle persone e familiari coinvolti in un incidente; condivisione dei compiti e responsabilità tra le varie figure operative e manageriali di un'organizzazione.

Anche nel caso della gestione delle emergenze, viene riconosciuta l'importanza dell'approccio operativo (ad es. l'Emergency Management Manual).

2.17 Metodi per l'analisi dei dati

I metodi più utilizzati in un SMS per l'analisi dei dati sono:

- *Interrogazioni standard* (“*query standards*”): Interrogazioni standard che possono essere attivate automaticamente con una semplice interfaccia di comando, la quale permette all'analista di selezionare le statistiche e le tendenze relative a periodi di tempo scelti dall'analista stesso.
- *Key Performance Indicators (KPI)*⁶: Monitoraggio costante di alcune tipologie di dati contenuti nella banca dati di riferimento aziendale. Il

⁶ Un **indicatore chiave di prestazione** (in inglese *Key Performance Indicators* o *KPI*) è un indice che monitora l'andamento di un processo aziendale. Può essere principalmente di quattro tipi: - *indicatori generali*: misurano il volume del lavoro del processo; - *indicatori di qualità*: valutano la qualità dell'output di processo, in base a determinati standard (p.e. rapporto con un modello di output, o soddisfazione del cliente); - *indicatori di costo*; - *indicatori di servizio*, o di tempo: misurano il tempo di risposta, a partire dall'avvio del processo fino alla sua

dato è espresso in termini di rapporto tra il numero di eventi registrati durante l'attività operativa e correlati al KPI in esame e un indice di riferimento preciso.

- *Similarità*: L'obiettivo è quello di rilevare la similarità tra Occorrenze diverse, dove per similarità si intende una appartenenza a “famiglie” di occorrenze, che sono formalmente classificate in maniera differente, ma risultano simili e comparabili per condizioni iniziali e/o al contorno comuni o equivalenti. La rilevazione di similarità è estremamente importante. Requisiti: medesimi parametri di riferimento e medesime, ma non tutte, tipologie di eventi. Il metodo si applica sia per gli Eventi tecnici che per Eventi tipicamente dipendenti dai fattori umani.
- *Valutazione dei rischi*: L'obiettivo dello strumento di analisi del rischio è quello di fornire una valutazione del livello del rischio derivante dallo studio di una singola Occorrenza e dei suoi Eventi. Sono fondamentali a questo fine le definizioni di *frequenza* e *severità* associate ad Eventi ed Occorrenze. Si rende inizialmente necessaria la formulazione di una adeguata correlazione tra: le *classi di severità* utilizzate nella tassonomia ADREP-2000 ed i *livelli di severità* della Matrice di Rischio.

In pratica si procede seguendo gli steps:

- sviluppo della “Event Time Line” (ETL) cioè della sequenza temporale degli Eventi;
- assegnazione della severità di ogni singolo Evento componente l'Occorrenza;
- valutazione, per ogni Evento, della frequenza di avvenimento;

conclusione. Solitamente i KPI vengono determinati da un analista, che esegue un'analisi top-down dei processi, a partire quindi dall'esigenza dei vertici oppure dall'analisi del problema. Non tutti i processi si prestano per essere analizzati con i KPI, e, in generale, si valuta questa opportunità con una scala di robustezza, che prende in considerazione, tra gli altri, la facilità di comprensione, il costo dell'informazione, la significatività, la strutturazione e la frequenza di cambiamento del dato.

- valutazione della severità dell'Occorrenza;
- valutazione del rischio di ogni Evento componente l'Occorrenza.

È da notare come non venga assegnato ad un'Occorrenza un valore di frequenza e quindi di rischio; ciò è il risultato dell'assunto che la ripetitività (frequenza) di un'occorrenza, nella sua totalità, è di fatto quasi impossibile, e pertanto la valutazione della frequenza e quindi del rischio di ripetersi della stessa Occorrenza sono considerati irrilevanti. D'altro canto, risulta assolutamente importante la valutazione del rischio dei singoli Eventi che sono spesso incontrati in Occorrenze diverse in quanto si sono presentati in situazioni contestuali diverse.

Per l'assegnazione della severità di ogni singolo Evento componente l'Occorrenza si può considerare un metodo che assume, prima di tutto, che un valore di *severità o criticità assoluta*, $S_a(\alpha)$, sia stato associato ad ogni Evento α . Tale valore indica un livello intrinseco di pericolosità di un evento indipendentemente dalle condizioni contestuali ed ambientali nelle quali l'Evento ha luogo.

Il valore $S_a(\alpha)$ deve essere assegnato a priori e deve essere universalmente accettato, almeno a livello nazionale, dalle autorità proposte alla sicurezza in modo da garantire un valore di riferimento comune.

La *severità assoluta* esprime il grado di pericolosità di un evento indipendentemente dal contesto socio-tecnico nel quale questo si verifica. La severità assoluta varia nel tempo e deve essere rivista a scadenze regolari.

Alla severità assoluta viene associata la *severità effettiva* che rappresenta il valore assegnato alla severità di un certo Evento in relazione al particolare contesto lavorativo e sociale in cui l'Evento si verifica.

$$S_e(\alpha) = S_a(\alpha) * \left[\frac{fo(\alpha) + fc(\alpha)}{2} \right] \quad (2.15)$$

Dove:

$S_e(\alpha)$: Severità effettiva

$$1 \leq S_e(\alpha) \leq 5$$



$S_a(\alpha)$: severità assoluta	$1 \leq S_a(\alpha) \leq 5$
$f_o(\alpha)$: fattore impatto organizzativo	$1 \leq f_o(\alpha) \leq 1,5$
$f_c(\alpha)$: fattore impatto contestuale	$1 \leq f_c(\alpha) \leq 1,5$

Il fattore di impatto organizzativo, $f_o(\alpha)$, indica la gravità che l'evento α può assumere in relazione agli aspetti organizzativi (ad esempio nel caso di sicurezza di trasporto aereo può essere associato al fatto che l'aeroplano non può volare e sarà diverso da una compagnia aerea a basso costo o da una compagnia aerea tradizionale).

Il fattore di impatto contestuale, $f_c(\alpha)$, esprime l'importanza del contesto ambientale e fisico sulla gravità dell'Evento (tengono conto delle possibili conseguenze associate ad un particolare evento dagli aspetti ambientali, meteorologici, condizioni fisiche e psicologiche).

2.17.1 Valutazione, per ogni Evento, della frequenza di avvenimento

La probabilità, o frequenza, $\varphi(\alpha)$ che un evento indesiderato α si verifichi è calcolata in termini di rapporto come:

$$\varphi(\alpha) = \frac{N\alpha}{Nt} \quad (2.16)$$

Dove:

$N\alpha$ è il numero totale di eventi di tipo α che si verificano nell'intervallo di tempo preso in considerazione (in genere un anno);

Nt indica:

- ✓ il numero totale di ore volate (sempre nel caso di sicurezza di

trasporto aereo) di cicli da parte della organizzazione nell'intervallo di tempo in esame (compagnia aerea etc.);

- ✓ il numero totale degli interventi in caso di manutenzione;
- ✓ il numero totale di movimenti di terra, all'interno del perimetro di aeroporto, e comprende non solo il numero totale dei decolli e atterraggi, ma anche i movimenti dei veicoli di servizio a terra.

2.17.2 Valutazione del rischio per ogni evento

Ricordando che il Rischio è esprimibile come Frequenza x Severità, è possibile calcolare il rischio per ogni evento come:

$$R(\alpha_1) = \varphi(\alpha_1) \cdot Se(\alpha_1) \quad (2.17)$$

Severità Frequenza	Trascurabile 1	Minore 2	Maggiore 3	Pericoloso 4	Catastrofico 5
Frequente $\varphi \geq 10^{-3}$					
Ragionevolmente Probabile $10^{-5} \leq \varphi \leq 10^{-3}$					
Remoto $10^{-7} \leq \varphi \leq 10^{-5}$					
Estremamente Remoto $10^{-9} \leq \varphi \leq 10^{-7}$					
Estremamente Improbabile $\varphi \leq 10^{-9}$					

Figura 2. 26 - Matrice di rischio

2.17.3 Valutazione della severità dell'Occorrenza

Dopo aver valutato la gravità e il rischio di ogni evento che costituisce una Occorrenza, è essenziale definire la gravità di quest'ultima. Questo si ottiene

combinando l'analisi della sequenza di Eventi e la considerazione di *eventi positivi e eventi negativi*.

Come si è già discusso precedentemente, la valutazione dell'Occorrenza in termini di analisi retrospettiva cioè sulla base di dati raccolti, non rappresenta una valida stima di sicurezza, in quanto la ripetibilità di una specifica sequenza nella sua totalità, la frequenza di Occorrenza, è estremamente improbabile, per cui risulterebbe rara nella scala delle frequenze e non darebbe una misura attendibile della sicurezza. D'altro canto però la valutazione della severità di Occorrenza è possibile e ciò comporta la considerazione degli Eventi negativi che l'hanno costituita e degli Eventi positivi che tendono a limitarne le conseguenze.

Gli Eventi positivi sono contabilizzati, come appena detto, in termini di riduzioni di rischio e gravità e sono associati con l'intervento delle barriere causali che possono essere di tipo:

- ✓ barriere materiali: che impediscono l'esecuzione di azioni pericolose attraverso vincoli fisici (es. porte, ringhiere, filtri etc.);
- ✓ barriere funzionali: che richiedono alcune funzioni predefinite al fine di permettere certe azioni o esecuzioni (es. chiusure a pressione, codici di sicurezza etc.);
- ✓ barriere simboliche: che sono associate a norme convenzionali (es. segnali, avvertenze etc.);
- ✓ barriere immateriali: che poggiano sugli aspetti cognitivi umani (es. leggi, norme generali, cultura etc.).

La valutazione della gravità associata ad un'Occorrenza la quale tiene conto del concetto di barriere o *Eventi positivi*, che ne hanno ridotto la gravità, può essere effettuata attraverso la seguente correlazione:

$$S_{e-occ} = [\max S_e(\alpha)] \cdot \gamma(\alpha_{pos}) \quad (2.18)$$

Dove:



S_{e-occ} è la severità effettiva dell'occorrenza;

$\max S_e(\alpha)$ è il massimo livello di severità valutato durante lo studio della ETL;

$\gamma(\alpha_{pos})$ è il fattore di riduzione della severità dovuto all'intervento delle barriere $\gamma < 1$, in assenza di barriere o Eventi positivi, $\gamma = 1$; con:

$$\gamma(\alpha_{pos}) = \sum_{i=1} (1 - \beta_i) \quad (2.19)$$

e dove β_i è il fattore di riduzione per tipo di barriera ($0 \leq \beta_i \leq 1$):

barriere fisiche: $\beta = 0,1$

barriere funzionali: $\beta = 0,2$

barriere simboliche: $\beta = 0,2$

barriere immateriali: $\beta = 0,1$.



BIBLIOGRAFIA CAPITOLO II

- [1] Chiodo E., Mazzanti G., *Approccio stocastico alla sicurezza*, Manutenzione Tecnica e Management, febbraio 2009.
- [2] Carrescia V. *Fondamenti di Sicurezza Elettrica*. TNE Torino, 2008.
- [3] Cox S., Tait R. *Safety, Reliability & Risk Management*. Butterworth, Oxford 2008.
- [4] Ericson CA. *Hazard Analysis techniques for system safety*. J. Wiley, 2005.
- [5] Thompson Jr. WA. *Point Process Model with Applications to Safety and Reliability*. Chapman and Hall, 1998.
- [6] Lapa CM, Pereira CM, de Barros MP. A model for preventive maintenance planning by genetic algorithms based in cost and reliability. *Reliability Engineering and System Safety* 91 (2006) 233–240.
- [7] Vaurio JK. Optimization of test and maintenance intervals based on risk and costs. *Reliability Engineering and System Safety* 49 (1995) 23–36.
- [8] Kececioglu D., Feng-Bin Sun. A general discrete time dynamic programming model for the opportunistic replacement policy and its application to ball bearing systems. *Reliability engineering and system safety* (1995).
- [9] Van Ginneken J., Hale A. From hanger-on to trendsetter: Decision making on a major safety initiative in a steel company maintenance department. *Safety Science* 47 (2009) 884–889.
- [10] Hale A., Heming BHJ, Smit K., Rodenburg FGTh, van Leeuwen ND. Evaluating safety in the management of maintenance activities in the chemical process industry. *Safety Science* Vol. 28, No. 1, pp. 21–44, 1998.
- [11] Busacca PG, Marseguerra M, Zio E. Multiobjective optimization by genetic algorithms: application to safety systems. *Reliab Eng Syst Saf* 2001; 72(1):59–74.
- [12] Harunuzzaman M., Aldemir T. Optimization of standby safety system maintenance scheduling in nuclear power plants. *Nucl Technol* 1996; 113:354–67.
- [13] Bucher C., Frangopol DM. Optimization of lifetime maintenance strategies for deteriorating structures considering probabilities of violating safety, condition, and cost thresholds. *Probabilistic Engineering Mechanics* 21 (2006) 1–8.
- [14] Vatn J., Aven T. An approach to maintenance optimization where safety issues are important. *Reliability Engineering and System Safety* 95 (2010) 58–63.
- [15] Martorell S., Sanchez A., Carlos S., Serradell V. Alternatives and challenges in optimizing industrial safety using genetic algorithms. *Reliability Engineering and System Safety* 86 (2004) 25–38.
- [16] Mohanta DK., Sadhu PK., Chakrabarti R. Deterministic and stochastic approach for safety and reliability optimization of captive power plant maintenance scheduling using GA/SA-based hybrid techniques: A comparison of results. *Reliability Engineering and System Safety* 92 (2007) 187–199.
- [17] Duncan Brewer H., Canady KS. Probabilistic safety assessment support for the maintenance rule at Duke Power Company. *Reliability Engineering and System Safety* 63 (1999) 243–249.
- [18] Wang J., Yang JB., Sen P., Ruxton T. Safety based design and maintenance optimisation of large marine engineering systems. *Applied Ocean Research* 18 (1996) 13–27.
- [19] Martorell S., Sanchez A., Munoz A., Pitarch JL., Serradell V., Roldan J. The use of maintenance indicators to evaluate the effects of maintenance programs on NPP performance and safety. *Reliability Engineering and System Safety* 65 (1999) 85–94.
- [20] Cepin M. Optimization of safety equipment outages improves safety. *Reliability Engineering and System Safety* 77 (2002) 71–80.
- [21] Marseguerra M., Zio E., Podofillini L. A multiobjective genetic algorithm approach to the optimization of the technical specifications of a nuclear safety system. *Reliability Engineering and System Safety* 84 (2004) 87–99.
- [22] Usman T., Fu L., Moreno LF. Quantifying safety benefit of winter road maintenance: Accident frequency modeling. *Accident Analysis and Prevention* 42 (2010) 1878–1887.
- [23] N. Möller e S.O. Hansson, *Principles of Engineering Safety: Risk and Uncertainty Reduction*, *Reliability Engineering and System Safety*, 93, 776–783, 2008.
- [24] Davide Panzavolta, “*L’analisi di rischio nella progettazione delle gallerie stradali*”, 2009.
- [25] Mara Lombardi e Massimo Guarascio, “*Analisi di rischio*”, 2008.



- [26] Stanley Kaplan e B. John Garrick, “*On The Quantitative Definition of Risk*”, 1980.
- [27] Sascia Canale, Salvatore Leonardi e Cinzia Fabiano, istituto strade, ferrovie e aeroporti, Università di Catania, “*Il concetto di rischio e gli ambiti applicativi dell’analisi del rischio*”, 2008.
- [28] F. Nuti, “*L’analisi costi benefici*”, 1987.
- [29] Stan Kaplan, “*The Words of Risk Analysis*”, 1997.
- [30] G. Hofstede, *Cultures and Organization: Software of the Mind*. McGraw-Hill, London, 1990.
- [31] J. Martin, *Cultures in Organization: Three Perspectives*, Oxford University Press, New York, 1992.
- [32] E. H. Schein, *Organizational Culture and Leadership*, second ed. Jossey-Bass, San Francisco, 1985.
- [33] J. T. Reason, *Managing the Risks of Organizational Accidents*, Ashgate, Alder shot, 1997.
- [34] M. D. Cooper, *Towards a model of safety culture*, Safety Science, 2000.
- [35] F. W. Guldenmund, *The Nature of Safety Culture: a review of theory and research*, Safety Science, 2000.
- [36] L. Ostrom, C. Wilhelmsen, B. Daplan, *Assessing Safety Culture*, Nuclear Safety, 1993.
- [37] S. Cox & T. Cox, *The Structure of Employee Attitudes of Safety: An European Example, Work and Stress*, 1991.
- [38] A. Wallace & A. Neal, *A Report on Safety in the Queen Island Meat Industry, Report prepared for the Meat Industry Advisory Group and the Australian Meat Industry Employees Union*, 2000.
- [39] D. Wiegmann, H. Zhang, T. Von Thaden, G. Sharma & A. Mitchell, *A Synthesis of Safety Culture and Safety Climate Research, Prepared for Federal Aviation Administration Atlantic City International Airport, NJ*, 2002.
- [40] B. Fernández-Muñiz, J.M. Montes-Peón & C.J. Vázquez-Ordás, *Safety Culture: Analisis of the casual relationships between its key dimensions*, Journal of Safety Research, 2007.

SITOGRAFIA CAPITOLO II

- | | |
|------|--|
| {1} | www.inail.it |
| {2} | www.osha.europa.eu |
| {3} | www.lavoro.gov.it |
| {4} | www.ispesl.it |
| {5} | www.complianceaziendale.com |
| {6} | www.sciencedirect.com |
| {7} | www.scholar.google.it |
| {8} | www.biblio.unina.it |
| {9} | www.springerlink.com |
| {10} | www.sirelib.unina.it |
| {11} | www.ieee.org |
| {12} | www.elsevier.com |
| {13} | www.jstor.org |



CAPITOLO III

FIRE SAFETY MANAGEMENT

Premessa

Una volta considerati, nei precedenti capitoli, i concetti di Gestione e Analisi dei Rischi, con particolare riferimento a quelli riguardanti la Sicurezza sul Lavoro, ci si soffermerà nel presente capitolo su un rischio specifico, in quanto presente in ogni realtà – industriale e non - e la cui gestione risulta particolarmente complessa e articolata: il Rischio Incendio.

La concezione della sicurezza antincendio e gestione delle emergenze ha subito un'evoluzione dalle tradizionali norme di tipo prescrittivo verso un approccio di tipo prestazionale che richiede l'elaborazione di uno schema di analisi articolato in fasi tra loro correlate.

Tale nuova visione sarà oggetto del presente capitolo, a seguito di una sezione introduttiva utile a conoscere i fattori caratterizzanti il Rischio Incendio e gli strumenti per contenerlo.

3.1 Introduzione

Il datore di lavoro deve considerare, in riferimento al sistema legislativo in vigore, una serie di misure da adottare durante le emergenze. Queste misure possono distinguersi tra quelle che si rivolgono verso l'esterno e quelle che invece si rivolgono verso l'ambiente di lavoro. Le misure dirette verso l'*esterno* prevedono l'organizzazione dei necessari rapporti con i servizi pubblici come Aziende Sanitarie ed i Vigili del fuoco. Le misure che si rivolgono verso l'*ambiente di lavoro* impongono la designazione di particolari figure lavorative incaricate di svolgere azioni specifiche durante situazioni di emergenza come ad esempio il primo soccorso, l'evacuazione dei luoghi di lavoro etc. Tali lavoratori non possono - se non per giustificato motivo - rifiutare la designazione e devono essere formati tramite opportuni corsi. Ulteriori misure rivolte verso l'ambiente di lavoro sono l'informazione dei lavoratori riguardo i rischi inerenti ogni attività, l'istruzione necessaria per poter prendere le misure adeguate qualora venissero a mancare le figure competenti durante un'emergenza e la programmazione di interventi preventivi e protettivi. Nelle realtà aziendali, sia pubbliche che private, un rischio presente ad ogni livello è quello relativo all'insorgere di un incendio. Quest'ultimo rappresenta non solo un pericolo per le persone ed i lavoratori ma anche un grave danno di tipo economico che grava sui bilanci dell'azienda. Generalmente le cause che portano allo sviluppo di un incendio sono riconducibili a due grandi gruppi:

1. Fattori Comportamentali: negligenza, disinformazione, sottovalutazione dei pericoli etc.;
2. Utilizzo di impianti/materiali privi dei requisiti di sicurezza necessari a minimizzare i possibili rischi derivanti da un errato funzionamento.

Il datore di lavoro dovrà anche, tramite il Servizio Prevenzione e Protezione, provvedere ad effettuare l'analisi dei luoghi di lavoro prendendo in

considerazione il tipo di attività svolta, le sostanze ed i materiali utilizzati, il numero di persone coinvolte per poter determinare i fattori di pericolo e la loro entità, identificare chi è esposto maggiormente a tale rischio e programmare le misure antincendio ritenute più opportune.

3.2 Cenni preliminari: la Combustione

L'**incendio** può definirsi [15],[16], secondo una definizione corrente, come una rapida ossidazione di materiali combustibili, caratterizzata da un notevole sviluppo di calore, emissione di luce, fiamme, fumi e gas caldi, che avviene in un luogo non predisposto a contenerla e che una volta insorta, qualora sfugga al controllo dell'uomo, tende a propagarsi in maniera incontrollata e devastante con conseguenti danni. Si tratta in effetti di una combustione accidentale in atmosfera di ossigeno nel corso della quale si ha una degradazione di energia chimica in termica, dove con il termine **combustione** normalmente si intende una reazione chimica esotermica, che avviene cioè con sviluppo di calore, sufficientemente rapida, di una sostanza combustibile, che si ossida e quindi perde elettroni, con l'ossigeno (sostanza ossidante che si riduce e quindi acquista elettroni), contenuto nell'aria generalmente, accompagnata da sviluppo di calore (perché i reagenti possiedono più energia dei prodotti di reazione) e produzione di radiazione luminosa (in effetti il calore generato innalza a sua volta la temperatura dei componenti della reazione portandola a valori tali per cui essi irradiano energia elettromagnetica con lunghezze d'onda comprese nel campo del visibile cosicché la zona di reazione appare allora luminosa e si parla di *fiamme*). In realtà [17], sono da considerarsi combustioni pure le reazioni che avvengono:



- ✓ in presenza di ossigeno dell'aria ma senza la produzione di radiazioni luminose (respirazione animali);
- ✓ in assenza di ossigeno dell'aria ma con la produzione di calore e a volte radiazioni luminose (respirazione delle piante);
- ✓ in assenza di aria ma con presenza di molecole contenenti ossigeno sufficiente per bruciare (polvere da sparo, esplosivi, celluloidi);
- ✓ nelle sostanze spontaneamente infiammabili (fosforo giallo, idrogeno, fosforato e alcuni composti metallici);
- ✓ in presenza di agenti diversi dall'ossigeno (come ad esempio l'idrogeno e altri metalli che bruciano in atmosfera di cloro).

Le combustioni possono essere distinte fondamentalmente in :

- ✓ combustione omogenea (che avviene tra un combustibile gassoso e comburente anch'esso gassoso);
- ✓ combustione eterogenea (tra combustibile solido o liquido e comburente gassoso);
- ✓ combustione degli esplosivi (combustione di sostanze contenenti nella loro composizione una sufficiente quantità di ossigeno comburente necessario alla combustione che avviene quindi senza apporto dall'esterno e quindi anche in assenza di aria, con notevole velocità di propagazione della fiamma e innalzamento della pressione).

Condizione necessaria affinché la combustione possa determinarsi è la commistione di tre grandezze fisiche: combustibile, comburente e energia di attivazione (sorgente di calore); pertanto solo la contemporanea presenza di questi tre elementi dà luogo al fenomeno dell'incendio e di conseguenza al mancare di uno di essi l'incendio si spegne. Per cui la combustione può rappresentarsi schematicamente con un triangolo detto comunemente **triangolo del fuoco** [18] i cui lati sono i tre elementi necessari al suo sviluppo.

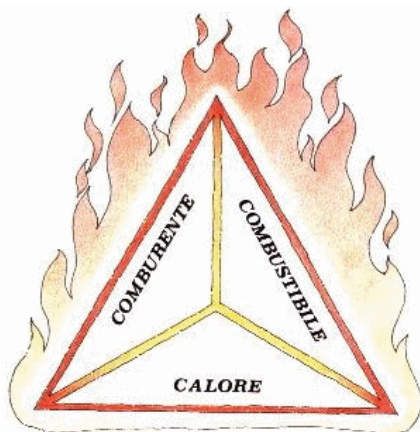


Figura 3. 1 - Il triangolo del fuoco

Il **combustibile** [19] è una sostanza che può essere allo stato solido, liquido o gassoso in grado di bruciare in condizioni ambientali normali (convenzionalmente fissate a 20 °C e a pressione di 760 mm Hg). A rigore andrebbero considerati combustibili tutte le sostanze non rientranti nella categoria delle sostanze *non combustibili* vale a dire quelle sostanze che non bruciano e non emettono vapori infiammabili in quantità sufficiente all'autocombustione se portate a una temperatura di 750°C. È da notare che la maggior parte delle combustioni avviene in fase gassosa; infatti mentre le sostanze gassose non hanno ovviamente necessità di trasformazione, per i liquidi si ha prima una evaporazione delle molecole del combustibile che passano in fase gassosa per effetto della temperatura e successivamente avviene la combustione del gas; per i solidi invece si ha prima una sublimazione, cioè un passaggio dalla fase solida a quella di vapore di alcune sostanze che bruciano subito se in quantità sufficienti a sostenere la combustione, dopodiché si ha la combustione del carbonio. Il **comburente** [20] è la sostanza ossidante che consente e favorisce la combustione, il più importante è l'ossigeno sia puro che contenuto nell'aria o in composti, ma vi sono altri comburenti come il protossido di azoto N_2O , l'ossido di azoto NO e il biossido di azoto NO_2 . Il terzo elemento è costituito da una **fonte di calore** ad alta temperatura, infatti non è sufficiente che il combustibile e il

comburente siano in intimo contatto perché la reazione avvenga, ma occorre che almeno in una sua parte la temperatura sia sufficientemente elevata da provocare l'accensione facendo sì che l'energia del sistema sia tale da superare l'energia di attivazione della reazione di combustione. Una volta acceso, il materiale continua a bruciare perché è il calore prodotto a riscaldare fino alla temperatura di accensione il materiale non ancora bruciato, determinando l'innescò di altre reazioni e in questo modo la combustione continua e si propaga finché trova combustibile ed aria sufficienti ad alimentarla e sostentarla. In realtà il triangolo visto è solo una parte di uno schema più complesso, come evidenziato nella Figura 3.2, in cui il triangolo precedente è quello superiore [21] (detto anche **di Kinsley o del "fuoco"**) che rappresenta l'inizio della combustione e cioè la reazione di ossidazione del combustibile catalizzata da una energia di innescò (scintilla, surriscaldamento, ecc).



Figura 3. 2 - I triangoli del fuoco

Per avvenire una propagazione dell'incendio occorre che non solo esista altro combustibile o comburente, ma anche che il fuoco abbia la capacità di auto mantenersi (triangolo inferiore). Quindi per correttezza è meglio parlare di **"croce del fuoco"** quando si parla di combustione già in atto. Recentemente nelle teorie antincendio si è introdotto un quarto elemento per meglio comprendere la natura degli incendi costituito dalla **reazione a catena** per

cui si parla di **tetraedro del fuoco**. In effetti, la combustione può definirsi [22] una reazione a catena cioè una reazione nella quale le molecole iniziali (combustibile e comburente) si trasformano nel prodotto finale attraverso stadi intermedi, collegati insieme come le maglie di una catena. Quando la sorgente di calore fornisce energia alla sostanza combustibile, questa si decompone in radicali liberi (atomi instabili), particelle estremamente reattive che iniziano la catena quando, colpendo molecole di ossigeno o combustibile, emettono altri radicali come prodotto intermedio dando luogo alla propagazione della combustione, ma se catturati da determinati radicali si bloccano e spezzano la catena interrompendola.

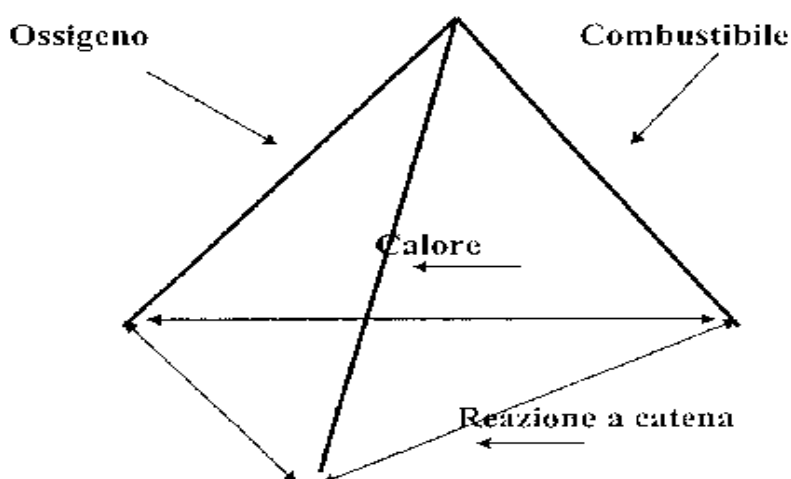


Figura 3.3 - Il tetraedro del fuoco

3.2.1 Le fonti di innesco

Le fonti di innesco, ossia dell'elemento che avvia la reazione di combustione una volta a contatto con la miscela infiammabile, possono suddividersi in quattro categorie [23] :

- ✓ **accensione diretta:** quando una fiamma, una scintilla o altro materiale incandescente entra in contatto con un materiale combustibile in presenza di ossigeno (operazioni di taglio e saldatura, fiammiferi e mozziconi di sigaretta, lampade e resistenze elettriche, scariche statiche, cause elettriche);
- ✓ **accensione indiretta:** quando il calore d'innesco viene fornito per convezione, conduzione e irraggiamento termico (correnti di aria calda generate da un incendio e diffuse attraverso vani o collegamenti di vario tipo, propagazione di calore attraverso elementi metallici);
- ✓ **attrito:** quando il calore è prodotto dallo sfregamento di due materiali (malfunzionamento di parti meccaniche rotanti quali cuscinetti o motori, urti, rottura violenta di materiali metallici);
- ✓ **autocombustione o riscaldamento spontaneo:** quando il calore occorrente all'innesco viene prodotto dallo stesso combustibile, senza alcun apporto di energia dall'esterno, per effetto di processi caratterizzati da produzione di calore come reazioni di ossidazione, decomposizioni esotermiche in assenza d'aria, azione biologica, a seguito dei quali la temperatura della sostanza può crescere fino a raggiungere dei valori tali da provocare un vero e proprio incendio (cumuli di carbone, stracci o segatura imbevuti d'olio di lino, polveri di ferro o nichel, fermentazione di vegetali).

3.2.2 La classificazione degli incendi

Le diverse tipologie di incendio possono essere classificate, ed infatti la Norma Europea EN2 emanata dal Comitato Europeo per la Normalizzazione (CEN) e recepita in Italia con il D.M. 20/12/1982, successivamente abrogato e sostituito dal D.M. 07/01/2005, ha suddiviso e classificato i fuochi in base ai materiali combustibili che li generano; tale classificazione è molto utile



perché permette una indicazione efficace e sintetica delle tipologie di incendio, ed anche perché consente di scegliere facilmente le sostanze estinguenti idonee nei diversi casi [24].

Nello specifico, si ha:

Classe A - Abbraccia tutti i materiali solidi a base cellulosica quali il legno, la carta, i tessuti, la paglia e simili soggetti a due forme tipiche di combustione: una vivace caratterizzata da fiamme e un'altra, priva di fiamme visibili, lenta e quasi covante caratterizzata dalla formazione di brace, che può durare per tempi assai lunghi prima di sfociare in un focolare di incendio vero e proprio. Lo spegnimento di questa classe di incendi, che avviene prima con la regressione delle fiamme fino allo spegnimento, cui segue l'annerimento delle braci, estinte le quali si considera terminata la combustione, si può ottenere mediante :

- ✓ acqua a getti piena o nebulizzata;
- ✓ polveri preferibilmente a base di fosfato di ammonio adatte a soffocare le braci;
- ✓ schiume ordinarie o a media espansione;
- ✓ anidride carbonica solo nei locali chiusi saturabili.

Classe B - Include liquidi infiammabili o solidi liquefacibili (idrocarburi in genere, catrami, grassi, oli, pitture, vernici, alcoli, pece, resine, e solventi, alcuni includono il caucciù e le materie plastiche che altri assegnano alla classe A). Le sostanze di questa classe sono caratterizzate da combustioni molto vivaci aventi fiamme molto alte poiché bruciano completamente in fase gassosa, dopo l'evaporazione o eventuale pirolisi, senza dar luogo a brace. L'estinzione di questo tipo di incendio si determina una volta estinte le fiamme. Alcuni suddividono ulteriormente questa classe in due sottoclassi per tener conto delle sostanze per il cui spegnimento non sia adatta l'acqua usata a getto pieno, per cui si distingue la sottoclasse **B1** comprendente le sostanze liquide più pesanti, l'olio combustibile e il gasolio, dalla sottoclasse



B2 comprendente i liquidi e sostanze più leggeri. Lo spegnimento di questa classe di incendi si può ottenere mediante:

- ✓ schiuma ordinaria e a media espansione;
- ✓ polveri chimiche a base di bicarbonato di sodio o di ammonio, compatibili con le schiume;
- ✓ composti alogenati che spengono istantaneamente senza residuo;
- ✓ anidride carbonica che spegne bene al chiuso e con molta difficoltà all'aperto.

Classe C - Incendi di gas infiammabili (metano, propano, butano, acetilene, gas naturale, gas di città, idrogeno etc.). Lo spegnimento avviene mediante:

- ✓ polveri a base di bicarbonato di sodio o fosfato di ammonio compatibili con le schiume;
- ✓ composti alogenati che spengono istantaneamente;
- ✓ anidride carbonica che spegne bene nei locali chiusi.

Non vanno usate schiume e acqua, mentre l'acqua nebulizzata può essere usata solo per il raffreddamento dopo però aver eliminato possibili ulteriori rilasci di gas e vapori infiammabili che altrimenti formerebbero eventuali miscele esplosive.

Classe D - Comprende incendi di metalli combustibili (sodio, potassio), di sostanze chimiche spontaneamente combustibili in presenza di aria, di sostanze chimiche reattive in presenza di acqua o schiuma (magnesio, titanio, zirconio e loro leghe). Lo spegnimento non è semplice, dipendendo dalla sostanza da estinguere; si possono usare ad esempio:

- ✓ polveri a base di cloruro di sodio;
- ✓ in alcuni casi si può usare olio combustibile che poi si spegne mediante schiume.

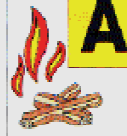




Classi	Natura del fuoco	Materiali attribuiti
 A	Fuochi di materie solide, generalmente di natura organica, la cui combustione avviene con produzione di braci.	Carta, Legna, Segatura, Trucioli, Stoffa, Rifiuti, Cere, Cartoni, Libri, Pece, Carboni, Paglia, Torba, Bitumi grassi, Carbonella, Fuliggine, Celluloide, Vernice alla nitro, Stracci unti, Materie plastiche, Pellicole, Tutto quanto forma brace, Solidi
 B	Fuochi di liquidi o di solidi che si possono liquefare a temperature relativamente basse.	Nafta, Benzina, Petrolio, Alcool, Olii pesanti, Etere, Glicerina, Vernici, Gomme, Resine, Fenoli, Zolfo, Trementina, Liquidi infiammabili, Solidi che si possono liquefare
 C	Fuochi gas	Metano, Cloro, Gas illuminante, Acetilene, Propano, Idrogeno, Cloruro di metile, Gas infiammabile
 D	Fuochi di metalli	Magnesio, Potassio, Fosforo, Sodio, Carburi, Electron (Al -Mg), Metalli infiammabili
 E	Fuochi da apparecchiature elettriche P.S. (NON CONSIDERATA NELLA NORMATIVA ITALIANA)	

Figura 3. 4 - Pittogramma dei fuochi

Classe E - In realtà non è una classe contemplata dalle norme europee EN ma è da molti usata per indicare le apparecchiature e impianti elettrici sotto tensione. Lo spegnimento di questa classe di incendi si può ottenere con:

- ✓ polveri a base di bicarbonato di sodio o di fosfato di sodio;
- ✓ composti alogenati;
- ✓ anidride carbonica che spegne bene nei locali chiusi;
- ✓ acqua nebulizzata esclusivamente da impianti fissi, non usare mai schiume di qualunque tipo.

Infine, con l'approvazione della norma EN. 2/05 è stata introdotta anche la **classe F** relativa ai fuochi sviluppati in presenza di oli, grassi animali o vegetali e più in generale dipendenti dalle apparecchiature di cottura stessa.

Gli estinguenti per i fuochi di classe F spengono per azione chimica e devono essere in grado di effettuare una catalisi negativa per la reazione chimica di combustione di queste altre specie chimiche. Come sostanze estinguenti si usano:

- ✓ schiume;
- ✓ PROFK.



Figura 3. 5 - Pittogramma dei fuochi di classe F

3.2.3 I parametri della combustione

La combustione è caratterizzata da numerosi parametri fisici e chimici, i principali dei quali sono i seguenti [15 a 17], [23], [25 a 29], {5 a 7} :

Temperatura di accensione: temperatura alla quale il combustibile, venuto a contatto con un innesco, si accende all'aria e continua a bruciare indipendentemente dalla cessione di calore dall'esterno. Tale temperatura varia col variare: dello stato fisico del combustibile, del rapporto tra combustibile/comburente, del tenore di gas inerte (azoto, CO_2 , etc.) presente nel comburente.

Temperatura di autoaccensione: temperatura minima alla quale deve essere portata una sostanza combustibile perché si determini l'accensione spontanea senza l'intervento dell'innesco esterno. In genere si assimila anche alla

temperatura che deve avere l'innesco perché determini l'accensione di quel combustibile; in altre parole è la temperatura richiesta perché una sostanza venendo a contatto con l'aria possa accendersi da sola e una miscela combustibile-aria possa accendersi da sola per riscaldamento della massa. Tale temperatura è per i combustibili liquidi e gassosi un valore tabellato e ben determinato, per le sostanze solide invece spesso non è esattamente determinabile dipendendo da numerosi fattori quali lo stato di suddivisione del materiale, umidità, etc. Il fenomeno della accensione (o autoaccensione) non deve essere confuso con il fenomeno della “*autocombustione*”, che invece consiste in una combustione spontanea di una sostanza combustibile, senza alcun apporto di energia dall'esterno, a seguito di una reazione di ossidazione inizialmente lenta, con successivo graduale e sensibile accumulo di calore, provocata spesso da fenomeni di fermentazione e di ossidazione; l'autocombustione può verificarsi facilmente, ad esempio, nei seguenti materiali: stracci imbevuti di olio o vernice, fieno, cotone grezzo in balle, olio, carbone. A titolo esemplificativo si riportano in Tabella 3.1 alcuni valori di temperatura di accensione per alcune sostanze combustibili.

Temperatura di combustione: temperatura massima che si può raggiungere nella combustione o anche secondo la teoria cinetica, il massimo incremento di energia cinetica media che possono acquisire le particelle elementari delle sostanze coinvolte nel fenomeno.

Temperatura teorica di combustione: è la massima temperatura alla quale possono essere portati i prodotti della combustione dal calore prodotto dalla combustione stessa, nell'ipotesi che tutta l'energia termica liberata vada ad aumentare la temperatura, senza scambio di calore con l'ambiente esterno e senza che vi sia trasformazione di energia termica in energia radiante.

Tabella 3. 1 - Temperatura di accensione di alcune sostanze

Sostanza	Temperatura d'accensione °C
Alcool etilico	363
Benzina	250
Carbone	610
Carta	230
Etilene	490
Gasolio	220
Gomma sintetica	300
Gpl	400
Idrogeno	560
Legno	220 ÷ 250
Metano	537

A titolo di esempio si riportano in Tabella 3.2 le temperature teoriche massime di combustione confrontate con quelle massime effettive misurate realmente ed ovviamente inferiori alle prime poiché non tutta l'energia che si sviluppa nella combustione va a riscaldare i gas combusti ma una parte si trasforma in energia radiante e inoltre sensibili abbassamenti sono anche dovuti a reazioni di dissociazione del vapore d'acqua e dell'anidride carbonica che avvengono con sottrazione di calore.

Tabella 3. 2 - Temperatura di combustione

Sostanza	Temperatura di combustione (°C)	
	Massima teorica	Massima reale
Metano	2218	1880
Etano	2226	1895
Propano	2232	1925
Butano	2237	1895

Temperatura di infiammabilità o punto di infiammabilità (Flash Point):
è la minima temperatura alla quale un liquido infiammabile emette vapori tali



che sulla superficie di esso si forma una miscela aria vapore in grado di accendersi in presenza di innesco; al di sotto di tale temperatura pertanto, una sostanza combustibile non può bruciare. Anche per i solidi teoricamente si potrebbe definire una temperatura di infiammabilità da intendersi come la minima temperatura alla quale il solido distillando emette vapori in grado di accendersi, tuttavia non essendo facilmente determinabile, per essi si preferisce parlare soltanto di temperatura di accensione. Questo parametro è discriminante in merito alla pericolosità di un liquido combustibile/infiammabile ed infatti una sostanza è tanto più pericolosa quanto minore è il suo Flash Point, ed in relazione ad esso si suole individuare tre categorie di liquidi infiammabili:

- ✓ **Categoria A:** liquidi con temperatura di infiammabilità inferiore a 21 °C (liquidi infiammabili e sostanze esplosive a temperatura ambiente ad esempio benzina e alcool);
- ✓ **Categoria B:** liquidi con temperatura di infiammabilità compresa tra 21°C e 65 °C (liquidi combustibili e sostanze che possono esplodere solo se riscaldati);
- ✓ **Categoria C :** liquidi con temperatura di infiammabilità superiore a 65 °C (liquidi che possono bruciare come gasolio, olio combustibile e lubrificanti).

Tabella 3. 3 - Temperature di infiammabilità di alcune sostanze

Sostanza	Temperatura di infiammabilità °C
Acetone	-18
Alcool etilico	13
Alcool metilico	11
Benzina	-20
Gasolio	65
Kerosene	37
Olio lubrificante	149
toluolo	4

Limiti di infiammabilità (% in volume): Tali limiti individuano il campo di infiammabilità all'interno del quale si ha, in caso d'innesco, l'accensione e la propagazione della fiamma nella miscela. Il *limite inferiore di infiammabilità* è la più bassa concentrazione in volume di vapore della miscela al di sotto della quale non si ha accensione in presenza di innesco per carenza di combustibile; il *limite superiore di infiammabilità* è la più alta concentrazione in volume di vapore della miscela al di sopra della quale non si ha accensione in presenza di innesco per eccesso di combustibile [20].

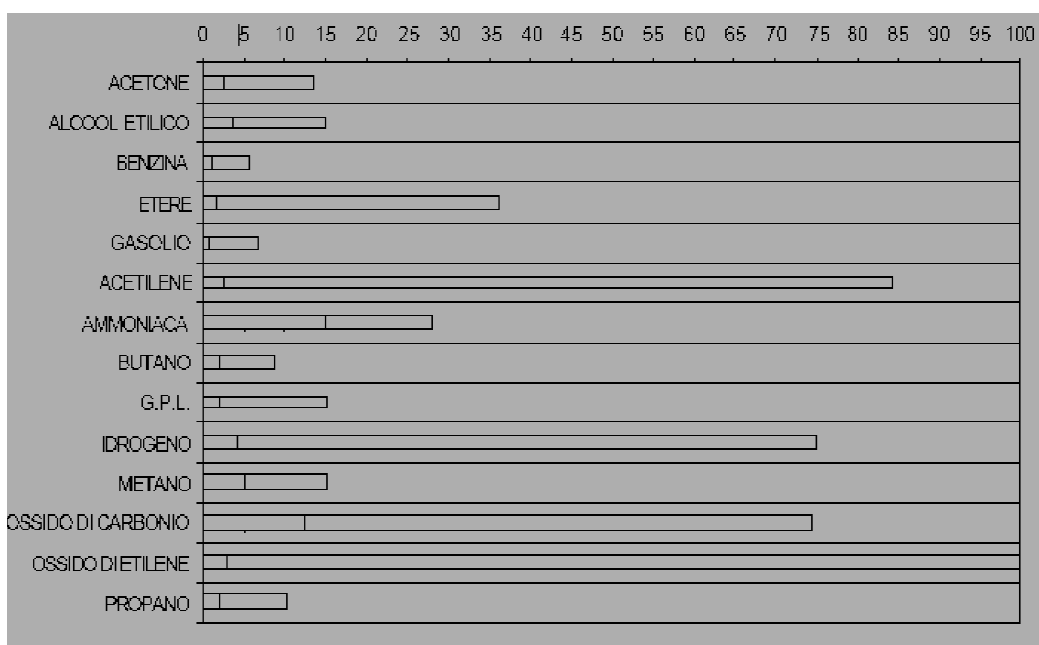


Figura 3. 6 - Limiti di infiammabilità di alcune sostanze

All'esterno di questo campo di infiammabilità, i cui valori sono espressi in volume percentuale (volume di combustibile x 100 / volume della miscela), la miscela risulta troppo povera o troppo ricca di combustibile rispetto al comburente, per cui la combustione non può avvenire. Se nella miscela è presente un eccesso d'aria (poco combustibile), il calore sviluppato dall'innesco è insufficiente a far salire la temperatura degli strati adiacenti di miscela fino al punto di accensione, per cui la fiamma non può propagarsi e

si estingue. Se invece nella miscela è presente un eccesso di combustibile (poca aria), questo funzionerà da diluente, abbassando la quantità di calore disponibile per gli strati adiacenti di miscela, fino ad impedire la propagazione della fiamma. Questi limiti dipendono dalla pressione (pressioni più alte tendono ad allargare il campo di infiammabilità, più basse a restringerlo) e dalla temperatura (l'aumento di temperatura allarga il campo di infiammabilità). Quanto più i valori di miscelazione combustibile - aria sono interni al campo di infiammabilità, tanto più la combustione si sviluppa con violenza e rapidità, assumendo sempre più il carattere di un'esplosione che a tutti gli effetti è un processo di combustione, ma avviene con velocità di propagazione del fronte di fiamma molto superiore alla normale velocità della fiamma di un incendio e con un forte aumento della pressione di combustione ed assume la dizione di *deflagrazione* o *detonazione* a seconda che il fronte di fiamma si muova a velocità subsonica o supersonica [30 e 31]. In Tabella 3.4 si riportano alcuni valori dei limiti di infiammabilità per alcune sostanze.

Tabella 3. 4 - Limiti di infiammabilità

Combustibile	Limite inferiore %	Limite superiore %
Alcool etilico	3,3	19
Alcool metilico	5,5	26,6
Ammoniaca	15	28
Benzina	0,9	7,5
Butano	1,5	8,5
Gas naturale	3	15
Gasolio	1	6
GPL	2	9
Idrogeno	4	75,6
Metano	5	15
Propano	2,1	9,5

Limiti di esplosibilità (% in volume): posizionati all'interno del campo di infiammabilità, rappresentano la più bassa concentrazione in volume di

vapore della miscela al di sotto della quale non si ha esplosione in presenza di innesco (limite inferiore di esplodibilità) e la più alta concentrazione in volume di vapore della miscela al di sopra della quale non si ha esplosione in presenza di innesco (limite superiore di esplodibilità).

A seguito di quanto descritto, si può pertanto affermare che una combustione può avvenire se, e solo se, sussistono *tutte e contemporaneamente* le seguenti condizioni minime {8}:

- 1) Presenza contemporanea del combustibile e dell'ossigeno (*aria*);
- 2) Miscela aria-combustibile infiammabile, e cioè con valori di miscelazione interni al campo di infiammabilità;
- 3) Temperatura del combustibile superiore alla temperatura di infiammabilità;
- 4) Presenza di un innesco di combustione (*fiamma o scintilla*) oppure (in sostituzione della condizione 4) temperatura del combustibile superiore alla temperatura di accensione, anche in assenza di inneschi.

Il fuoco (e quindi un incendio) potrà dunque generarsi e permanere unicamente se sussistono *insieme e contemporaneamente* le condizioni descritte. Quando anche solo una di tali condizioni viene a mancare, il fuoco si spegne oppure non si genera, e su questo fondamentale ed importantissimo principio sono basate tutte le tecniche di estinzione degli incendi.

Aria teorica di combustione: è la quantità di aria necessaria per bruciare completamente un kg o un m³ di combustibile; la quantità di aria strettamente necessaria alla combustione dipende dalla composizione chimica del combustibile e risulta tanto maggiore quanto più è elevato il potere calorifico del combustibile.

Tabella 3. 5 - Aria teorica di combustione

Sostanza	Aria teorica di combustione Nm ³ /kg
Alcool etilico	7,5
Benzina	12
Carbone	8
Gasolio	11,8
Idrogeno	28,5
Legno	5
Olio combustibile	11,2
Polietilene	12,2
Propano	13

Potere calorifico: indica la quantità di calore (MJ/kg o kcal/kg) prodotta dalla combustione completa dell'unità di massa o di volume di una determinata sostanza combustibile e si distingue in: **superiore** che esprime la quantità di calore sviluppata dalla combustione considerando anche il calore di condensazione del vapore d'acqua prodotto e **inferiore** quando il calore di condensazione del vapor d'acqua non è considerato (pari al PCS meno il calore di evaporazione o di condensazione del vapore d'acqua che si forma durante la combustione).

Tabella 3. 6 - Poteri calorifici dei principali combustibili

Combustibile	Potere calorifico inferiore			Potere calorifico superiore		
	MJ/kg	MJ/Nm ³	MJ/dm ³	MJ/kg	MJ/Nm ³	MJ/dm ³
Benzina	-	-	31,4	-	-	33,8
Coke	29,0	-	-	30,0	-	-
Gas naturale	-	34,5	-	-	38,5	-
Gasolio	-	-	35,5	-	-	37,9
G.P.L.	46,0	-	25,0	50,0	-	27,2
Legna secca	16,7	-	-	18,4	-	-
Olio combustibile	41,0	-	-	43,8	-	-

Per i combustibili che non contengono idrogeno né acqua al loro interno, non risultano differenze tra potere calorifico inferiore e superiore; in genere nella prevenzione incendi viene considerato sempre il potere calorifico inferiore [32 e 33].

3.3 Combustibili e modalità di combustione

Si definiscono [22],[34] **combustibili** le sostanze in grado di reagire con l'ossigeno (o con un altro comburente) dando luogo ad una reazione di combustione. I componenti principali dei combustibili più usati sono il carbonio (C) e l'idrogeno (H), definiti elementi utili in quanto conferiscono al combustibile due principali requisiti: sviluppare calore in notevole quantità e dare una combustione completa con la minima produzione di sostanze inquinanti. I vari tipi di combustibili possono essere classificati in base allo *stato fisico* (a temperatura e pressione ambiente) differenziandosi in combustibili liquidi, gassosi e solidi.

Tabella 3. 7 - Classificazione dei combustibili

Combustibili solidi			
NATURALI	Carbon fossili (torba, lignite, litantrace, antracite), Legna	DERIVATI	Coke (di carbon fossile) Carbone di legna Agglomerati vari
Combustibili liquidi			
NATURALI	Petrolio greggio	DERIVATI	Benzine di distillazione, gasolio, olio diesel, olio combustibile
Combustibili gassosi			
NATURALI	Gas naturale (metano, butano, etc.)	DERIVATI	Gas di città e di cokeria, gas di generatori, gas di raffineria, acetilene, idrogeno

Un'altra classificazione possibile si basa sull'origine dei combustibili, distinguendo tra combustibili naturali e derivati. I combustibili naturali si adoperano così come si trovano in natura, quelli derivati vengono forniti quali prodotti di trasformazione di combustibili naturali o di particolari lavorazioni industriali. In Tabella 3.7 si riporta una possibile classificazione dei combustibili.

3.3.1 Combustibili solidi

I combustibili solidi sono i più abbondanti e quelli che vengono usati da più tempo. Ad essi appartiene il più antico ed il più noto fra i combustibili: il legno. Stesse caratteristiche presentano tutte le sostanze che derivano dal legno come la carta, il lino, la juta, la canapa, il cotone, etc. Una caratteristica importante è la **pezzatura**, definita come il rapporto tra il volume e la sua superficie esterna {9}. Se un combustibile ha una grande pezzatura vuol dire che le sue superfici a contatto con l'aria sono relativamente scarse ed inoltre ha una massa maggiore per disperdere il calore che gli viene somministrato. In pratica un pezzo piccolo prende fuoco facilmente anche con sorgenti a temperatura relativamente bassa, mentre un pezzo sufficientemente grande prende fuoco con molta più difficoltà [22],{10}. In generale, sia per i combustibili solidi che per quelli liquidi, si ha che quando il combustibile è suddiviso in piccole particelle, la quantità di calore da somministrare è tanto più piccola quanto più piccole sono le particelle, sempre che naturalmente si raggiunga la temperatura di accensione. Così il legno che in grandi dimensioni può essere considerato un materiale difficilmente combustibile, quando invece è suddiviso allo stato di segatura o di polvere può dar luogo addirittura ad esplosioni. Per un combustibile solido diventa quindi fondamentale la sua *suddivisione*. Una grossa pezzatura comporta un basso rischio di incendio, mentre con una pezzatura piccola lo stesso materiale



risulta molto pericoloso. Va notato che nel caso di materiali di grossa pezzatura diventa rilevante non solo il fatto che la sorgente di calore abbia una temperatura elevata ma anche il *tempo di esposizione* alla sorgente di calore. Altri combustibili solidi sono i carboni fossili come lignite, litantrace, antracite, la torba e gli agglomerati.

La combustione dei solidi {11} è un fenomeno più complesso rispetto a quella dei liquidi o dei gas poiché solitamente il processo avviene per stadi e prevede diverse modalità di combustione contemporaneamente presenti: una combustione con fiamma, una combustione a brace e la piroscissione delle sostanze solide. Per effetto dell'innalzamento della temperatura i solidi subiscono un processo di degradazione del materiale superficiale che comporta la demolizione delle molecole costituenti ed emissione di sostanze volatili infiammabili (processo di distillazione detto *pirolisi*) che a contatto con l'aria bruciano con fiamma (appunto *combustione con fiamma*) [17],[24],[29]; inoltre una parte del calore prodotto dà luogo all'instaurarsi di una reazione esotermica capace di autosostenersi, infatti riscalda la massa adiacente del combustibile con emissione di ulteriori sostanze volatili infiammabili (altra pirolisi) che alimenteranno e manterranno la fiamma e la combustione prosegue in questo modo fino all'esaurirsi di tutti i vapori infiammabili per poi proseguire sotto forma di brace. Poiché il fenomeno impegna notevoli quantità di energia, nonostante i solidi possano sviluppare ingenti quantità di calore e volumi di fumi, finiscono per bruciare con velocità inferiore a quella dei gas e dei liquidi. La *combustione a brace* (combustione lenta senza formazione di fiamme), si manifesta quando l'ossigeno dell'aria penetra all'interno del solido in combustione attraverso fessurazioni in esso presenti, porosità o crepe provocate dal calore stesso della combustione e da fenomeni di piroscissione. Inoltre il processo di combustione delle sostanze solide porta alla formazione di braci che sono costituite dai prodotti della combustione dei residui carboniosi della combustione stessa, mentre i residui della combustione di materiali solidi

vengono chiamati *ceneri*. Bisogna però distinguere dai solidi che fondono prima di passare allo stato aeriforme per i quali la combustione è analoga a quella dei gas e dei liquidi, dai solidi che possono bruciare passando direttamente dallo stato solido ad aeriforme senza fondere. La combustione delle sostanze solide è caratterizzata dai diversi parametri che fanno in modo che la velocità di combustione dei solidi non sia costante: dalla pezzatura (una volta innescata la combustione procede in modo tanto più rapido e vorace quanto maggiore è il grado di suddivisione dei materiali potendo giungere più ossigeno sulle superfici libere) e forma del materiale, dal grado di porosità del materiale, dagli elementi che compongono la sostanza, dal contenuto di umidità del materiale, condizioni di ventilazione e di efflusso di aria, dalla dispersione nell'ambiente del calore sviluppato, dalla disposizione delle sostanze rispetto al fronte di avanzamento del fuoco, dalla geometria dei luoghi. A seconda delle temperature in gioco, della velocità di combustione, della natura delle sostanze coinvolte nell'incendio possono formarsi prodotti chimici molto diversi e in percentuali molto variabili. In generale il volume di gas combustibili e vapori prodotti nel corso degli incendi è dell'ordine di molte centinaia di litri per chilogrammo di materiale solido coinvolto e se diluiti nell'aria e dilatati dal calore, possono addirittura raggiungere volumi dell'ordine di molte migliaia di litri per chilogrammo di solido. Possiamo infine definire *incombustibili solidi* le sostanze che non bruciano, mentre i *combustibili solidi* possono distinguersi in:

- ✓ *difficilmente combustibili* (sostanze che prendono fuoco a contatto con la sorgente di ignizione e smettono di bruciare appena quest'ultima si allontana);
- ✓ *combustibili* (sostanze che prendono fuoco a contatto con la sorgente d'ignizione e che sono capaci di continuare a bruciare da sole);
- ✓ *facilmente accendibili* (sostanze che iniziano a bruciare rapidamente per effetto di una sorgente d'ignizione debole come una scintilla o corto circuito);



- ✓ *difficilmente accendibili* (sostanze che prendono fuoco per effetto di una elevata sorgente d'ignizione).

3.3.2 Combustibili liquidi

I combustibili liquidi {11} sono, tra i combustibili, quelli che presentano il più elevato potere calorifico per unità di volume. Quelli artificiali sono pochi e di scarsa importanza, mentre ben più importante è la classe dei naturali, alla quale appartengono i petroli e dei derivati (benzina, cherosene, gasolio e olio combustibile). In generale tutti i combustibili liquidi sono in equilibrio con i propri vapori, che si sviluppano in misura differente a seconda delle condizioni di pressione e di temperatura, sulla superficie di separazione tra liquido e mezzo che lo sovrasta. I liquidi infiammabili non bruciano come tali ma come vapori originati in corrispondenza della superficie dei liquidi che si comportano come gas combustibili, e la combustione avviene quando i vapori, miscelandosi con l'ossigeno dell'aria in concentrazioni comprese nel campo di infiammabilità, sono opportunamente innescati. Pertanto per bruciare in presenza di innesco, un liquido infiammabile deve passare dallo stato liquido allo stato vapore. L'indice della maggiore o minore combustibilità di un liquido è fornito dalla temperatura di infiammabilità (tanto più bassa è tale temperatura più grave è il pericolo di incendio) e in base ad essa i combustibili liquidi vengono catalogati come visto parlando della temperatura di infiammabilità in categoria A, B, o C. Pertanto, al raggiungimento di tale temperatura la superficie del liquido emette vapori in quantità tali che, mescolati con l'aria, danno luogo a una combustione in presenza di innesco. Il calore sviluppato provoca l'evaporazione di ulteriore liquido che, combinandosi con l'ossigeno dell'aria, mantiene la combustione.

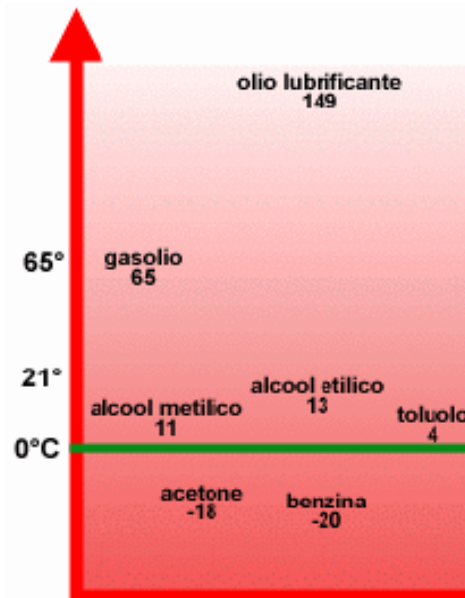


Figura 3. 7 - Temperature di infiammabilità in °C

Altri parametri che caratterizzano i combustibili liquidi sono la temperatura di accensione e di infiammabilità, i limiti di infiammabilità, la viscosità e la densità dei vapori. Tanto più è bassa la temperatura di infiammabilità tanto maggiori sono le probabilità che si formino vapori in quantità tali da essere incendiati. Particolarmente pericolosi sono quei liquidi che hanno una temperatura di infiammabilità inferiore alla temperatura ambiente, in quanto anche senza subire alcun riscaldamento, possono dar luogo ad un incendio. Fra due liquidi infiammabili entrambi con temperatura di infiammabilità inferiore alla temperatura ambiente è comunque da preferire quello a più alta temperatura di infiammabilità in quanto a temperatura ambiente emetterà una minore quantità di vapori infiammabili, diminuendo così le possibilità che si formi una miscela aria - vapori nel campo d'infiammabilità. Ulteriori elementi negativi per quanto riguarda il pericolo di incendio sono rappresentati da:

- ✓ bassa temperatura di accensione del combustibile, che comporta una minore energia di attivazione per dare inizio alla combustione;

- ✓ ampio campo di infiammabilità, in quanto risulta più esteso l'intervallo di miscelazione vapore - aria per il quale è possibile l'innesco e la propagazione dell'incendio.

Un'ultima considerazione [22] si deve fare a proposito della **densità** dei vapori infiammabili, definita come la massa per unità di volume di vapori del combustibile. I combustibili più pericolosi sono quelli più pesanti dell'aria, in quanto in assenza o scarsità di ventilazione tendono ad accumularsi e a ristagnare nelle zone basse dell'ambiente formando più facilmente miscele infiammabili.

3.3.3 Combustibili gassosi

Fra i combustibili gassosi naturali, i più importanti sono senza dubbio gli idrocarburi gassosi: metano, etano, propano e butano, mentre fra i combustibili gassosi artificiali merita un cenno l'idrogeno. Questi combustibili sono migliori dei combustibili liquidi naturali perché sono generalmente molto puri, possono essere miscelati facilmente con l'aria (e quindi con l'ossigeno) per avere un'ottima combustione e bruciano senza dare origine a sostanze incombuste e a fumi. L'unico rischio, comune peraltro a quasi tutti i combustibili naturali, consiste nella possibile formazione di monossido di carbonio se la disponibilità di ossigeno è limitata. I gas in base alle loro caratteristiche fisiche vengono divisi in: gas *leggeri* e gas *pesanti* [22]. I primi presentano densità rispetto all'aria inferiore a 0,8 (idrogeno, metano, etc.) e una volta liberati dal proprio contenitore tendono a stratificare verso l'alto. I secondi invece hanno una densità rispetto all'aria superiore a 0,8 (GPL, acetilene, etc.) e quando sono liberati dal proprio contenitore tendono a stratificare e a permanere nella parte bassa dell'ambiente e a penetrare in cunicoli o aperture praticate a livello del piano di calpestio.



Il comportamento dei combustibili gassosi [17] è analogo a quello dei vapori dei liquidi infiammabili anche se bisogna tenere presente che il sistema gassoso (combustibile-comburente) può essere o chimicamente uniforme (combustibile-comburente mescolati prima dell'ignizione) oppure chimicamente non uniforme (ignizione e combustione avvengono simultaneamente al mescolamento del gas e del comburente). Per questi combustibili oltre alla presenza del materiale combustibile, del comburente e di un punto d'ignizione a temperatura uguale o superiore a quella del materiale combustibile deve sussistere una quarta condizione, cioè che la proporzione relativa del combustibile gassoso rispetto a quella del comburente gassoso (ossigeno o aria) deve essere compresa entro i limiti inferiore e superiore di infiammabilità [15].

Le combustioni con fiamma sono possibili solo quando le sostanze incendiabili sono in fase gas o vapore e abbiamo visto che combustioni possono aver luogo solo quando la percentuale delle sostanze disperse in aria è compresa entro due valori, uno minimo e l'altro massimo, chiamati rispettivamente limite inferiore e superiore di infiammabilità; il fenomeno è chiaramente mostrato nella figura 3.8 e l'andamento può essere spiegato dalla teoria cinetica del calore [29]. Fino a quando le molecole combustibili disperse in aria non raggiungono un numero sufficientemente elevato, le collisioni con le molecole di ossigeno e le conseguenti ossidazioni non riescono a generare, nell'intorno del punto in cui avvengono, una temperatura, ossia un incremento di energia cinetica delle particelle circostanti, pari o superiore a quella occorrente all'innesco delle reazioni a catena che caratterizzano le combustioni con fiamma.

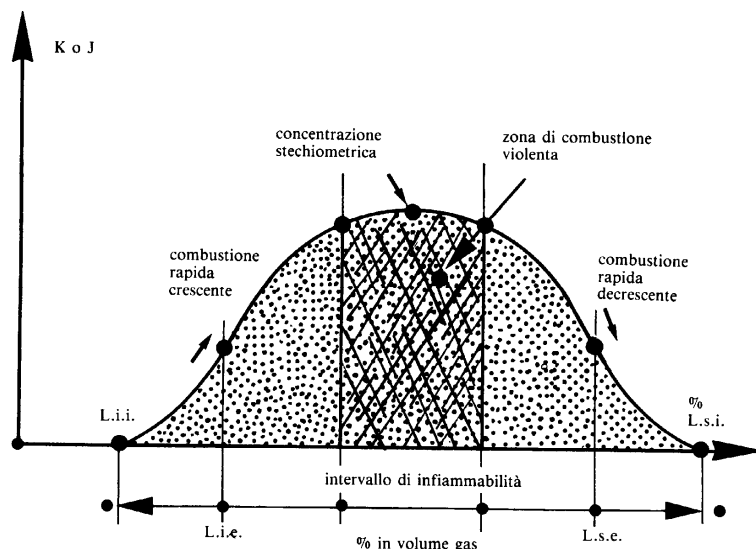


Figura 3. 8 - Campo di infiammabilità di miscele infiammabili

Successivamente, aumentando il numero delle molecole combustibili, cresce il numero delle ossidazioni possibili e la quantità globale di calore rilasciato. Questa crescita cessa allorché tutte le molecole di ossigeno possono combinarsi con le molecole combustibili presenti nella miscela. Superato un certo rapporto (detto stechiometrico), l'intensità della combustione non può che decrescere perché una quota parte dell'energia cinetica attivata dalle ossidazioni viene assorbita e dispersa dalle innumerevoli collisioni improduttive che hanno luogo con particelle inerti a causa dell'insufficiente numero di molecole di ossigeno contenute nella miscela. Le reazioni a catena che sostengono la fiamma a un certo punto cessano e il processo di combustione si arresta. Ciò avviene ovviamente quando il numero delle molecole combustibili raggiunge e supera il valore cui corrisponde, in termini percentuali il limite superiore di infiammabilità.

I limiti di infiammabilità variano sensibilmente da sostanza a sostanza {12} e dipendono, per una stessa sostanza, da molteplici fattori quali la pressione alla quale avviene la combustione, la temperatura della fonte di accensione, il tempo durante il quale opera tale fonte, la turbolenza della miscela, la geometria dell'ambiente, la quantità di calore che si sviluppa con la

combustione, i calori specifici delle sostanze reagenti; in presenza di gas inerti, inoltre, si ha una notevole contrazione del campo di infiammabilità, un aumento di pressione produce di regola un allargamento di detto campo e lo stesso effetto provocano gli aumenti di temperatura. L'accensione nel caso di combustione con fiamma richiede che in un punto almeno delle miscele aeriforme-aria la temperatura sia portata per un certo tempo, detto di *induzione*, al di sopra di un determinato valore e la combustione ottimale si ha quando il rapporto fra combustibile e comburente (detto *stechiometrico*) è tale che tutti gli atomi di ossigeno e tutti gli atomi combustibili presenti in esse si combinano fra loro.

Nel caso dei *liquidi* la combustione con fiamma può sostenersi solo se evapora una quantità di liquido sufficiente a formare una miscela vapore-aria compresa nei limiti di infiammabilità. Nei liquidi *infiammabili* avviene un continuo rilascio nell'ambiente di vapori formanti miscele infiammabili, poiché l'energia termica sottratta dalle molecole che evaporano viene reintegrata dagli scambi termici fra liquido e ambiente, per cui risultano molto pericolosi potendosi formare sacche esplosive nelle zone più basse o in cavità in cui i vapori, più pesanti dell'aria, si raccolgono e per i quali basta una fonte di ignizione di bassissima energia perché segua una esplosione cui segua un incendio. Invece risultano molto meno pericolosi i liquidi *combustibili* che non rilasciano una quantità di vapori sufficiente a formare miscele infiammabili. Per entrambi i tipi di liquidi la miscela vapore-aria bruciano solitamente con la cosiddetta *fiamma di diffusione* {12}: l'ossigeno dell'aria si diffonde nella massa di vapori e gas creando le condizioni per l'innesco e il sostentamento della combustione con fiamma e le miscele rilasciano energia raggiante in quantità notevoli sotto forma di fotoni. I fotoni (energia elettromagnetica) investono la superficie del liquido cui cedono calore sufficiente a mantenere l'evaporazione e a sostenere la fiamma per cui il liquido si scalda in superficie rilasciando vapore che alimenta il fuoco e determinando così un aumento della vivacità delle fiamme, del calore

sviluppato e del volume e temperatura media dei fumi e susseguente ulteriore riscaldamento del liquido e formazione di vapore. Il fenomeno interessa però solo lo strato superficiale di liquido che dilatandosi per effetto del calore risulta più leggero degli strati sottostanti più freddi e non si verifica il rimescolamento che si avrebbe in caso di riscaldamento dal basso. Successivamente, aumentando il numero di molecole che evaporano, le molecole di ossigeno, che procedono controvento, trovano difficoltà crescenti a diffondere nel vapore sempre più denso sul pelo libero del liquido. Di conseguenza la base delle fiamme si innalza rispetto alla superficie e diminuisce l'energia calorica trasmessa da esse al liquido; per cui si osserva una diminuzione dell'evaporazione e un raggiungimento di un equilibrio chimico che si protrae fino all'esaurimento del liquido [24].

3.4 Condizioni necessarie per l'innescò e autosostentamento

Alla luce delle considerazioni viste sulla combustione con fiamma si può affermare che l'innescò e l'autosostentamento dell'incendio risultano possibili al verificarsi delle seguenti condizioni [24],[29] :

- 1) contemporanea presenza, in un certo spazio, di sostanze combustibili (in qualunque stato fisico) e aria sufficientemente ricca di ossigeno;
- 2) presenza di sostanze combustibili allo stato aeriforme o possibilità di pervenire ad esso, in modo da formare con il comburente miscele comprese entro i limiti di infiammabilità.
- 3) somministrazione di calore ad elevata temperatura, in almeno un punto della miscela, attraverso una qualunque sorgente (fiamma, scintilla, scarica elettrica, corpo caldo, etc.). Il calore deve essere fornito per un tempo sufficiente a:
 - a. nel caso di *miscele infiammabili* in aria con composizione compresa entro i limiti di infiammabilità, vincere le forze di

legame agenti fra gli atomi che costituiscono le molecole delle sostanze e innescare l'ossidazione a catena degli atomi di carbonio, idrogeno e degli elementi ossidabili presenti nella miscela, in modo da poter formare nuove molecole differenti con sviluppo di ingenti quantità di energia ad elevate temperature;

- b. nel caso dei *liquidi combustibili*, indurre la loro preventiva evaporazione in quantità sufficiente a formare miscele vapore – aria comprese nei limiti di infiammabilità e innescare la combustione;
 - c. nel caso delle sostanze *solide combustibili*, provocare la demolizione termica (pirolisi) di almeno una piccola porzione di solido con conseguente formazione di prodotti aeriformi tali da formare con l'aria miscele combustibili comprese entro i limiti di infiammabilità e di innescare la combustione;
 - d. generare, nello spazio circostante la zona di combustione, una temperatura non inferiore a quella occorrente a sostenere il processo di combustione al cessare della somministrazione di calore da parte della fonte di ignizione;
- 4) attivazione di un tiraggio, da parte del calore generato dalla combustione, sufficiente a indurre l'evacuazione dei fumi dallo spazio in cui si formano e concomitante afflusso di aria fresca recante ossigeno in quantità sufficiente a sostenere le reazioni di ossidazione a catena che caratterizzano le combustioni con fiamma.

L'incendio una volta innescato, in assenza di appropriati interventi repressivi, prosegue aumentando o scemando di intensità in dipendenza della quantità e natura delle sostanze combustibili presenti o che man mano pervengono e del flusso di aria occorrente al mantenimento delle condizioni viste. Va comunque precisato che un incendio può propagarsi anche a distanze ragguardevoli se l'energia elettromagnetica irraggiata è talmente

considerare che le sostanze combustibili investite da tale flusso subiscono aumenti di temperatura tali da instaurare in esse le condizioni occorrenti per la combustione con fiamma. Inoltre l'evoluzione dell'incendio è sempre influenzata in maniera considerevole dal tiraggio; ad incendio avvenuto è di regola la quantità di aria fresca che perviene alla radice del fuoco a determinare il numero di reazioni di ossidazione contemporaneamente possibili e quindi il vigore delle fiamme.

3.5 Provvedimenti per condizionare l'evoluzione degli incendi

Vista la necessità della concomitanza delle condizioni precedenti per l'insorgenza degli incendi e l'autosostentamento, è pertanto possibile influire sull'evoluzione degli incendi in modo da impedirne l'espansione, contenerne gli effetti ed ottenerne lo spegnimento nei seguenti modi [20],[35] :

- 1) sottraendo, mediante urti parassiti e improduttivi con minutissime particelle di sostanze incombustibili disperse nella zona delle fiamme, gran parte dell'energia cinetica alle particelle ossidabili presenti ossia raffreddando;
- 2) ostacolando il tiraggio della combustione, ossia l'evacuazione dei fumi e quindi l'afflusso di aria fresca ricca di ossigeno; per *tiraggio* bisogna intendere sia il movimento dell'aria che alimenta il fuoco, sia quello dei fumi prodotti dal fuoco stesso che per spinta archimedeica ascendono nell'aria ambiente o in condotti appositamente predisposti.
- 3) sottraendo o riducendo la massa delle sostanze combustibili che possono essere coinvolte nel fenomeno;
- 4) immettendo nelle miscele infiammabili, che alimentano le fiamme, sostanze aventi la proprietà di influire negativamente sui meccanismi che sostengono le reazioni a catena che portano alla generazione delle fiamme. Tali sostanze, incorporanti di solito atomi di cloro, bromo,

fluoro e iodio, opererebbero secondo la più accreditata teoria sui radicali liberi che attivano le reazioni a catena.

3.6 Esplosioni

Un'esplosione [17], [20], [27], [36 a 38], è causata dalla liberazione rapidissima, incontrollata ed inarrestabile di energia e si manifesta con produzione di un'onda meccanica (sovrapressione) accompagnata da un fragore (boato) e nelle esplosioni termiche da luce e calore. Le esplosioni termiche derivano unicamente da un processo di combustione in cui la velocità di reazione è estremamente elevata e caratterizzata dalla produzione nell'unità di tempo di un volume di gas ad alta temperatura e in quantità enorme e da una rapidissima espansione che partendo dal centro dell'esplosione diffonde pressione e calore a livelli elevati. Se di grande rilevanza possono essere prodotte da miscele infiammabili di gas e vapori, da polveri combustibili sospese in aria e da esplosivi. L'energia di un'esplosione, fondamentalmente liberata sotto forma di onda di scoppio, si suddivide in tre forme: un lavoro meccanico di compressione che irradiato dal centro di esplosione si esercita sul mezzo circostante, calore e energia cinetica associata al vento susseguente l'onda di scoppio. Col procedere del fronte d'onda si verifica un trasferimento dell'energia dell'onda agli strati che vengono attraversati, per cui l'aria subisce una compressione muovendosi nella direzione dell'onda e l'energia si distribuisce nello spazio con valori inversamente proporzionali al quadrato della distanza (onda sferica). Dopo una frazione di secondo in cui si crea una regione di pressione positiva segue una fase di risucchio in cui la pressione è sotto il livello atmosferico e si determina un'onda retrograda con il vento che inverte la direzione. L'onda anteriormente è delimitata da un fronte d'urto che comprime e riscalda gli



strati successivi fino a far raggiungere la temperatura di accensione della sostanza o a produrne la decomposizione negli esplosivi e il calore che si sussegue nelle reazioni successive mantiene costante l'intensità e la velocità del fronte d'urto.

Si parla di *deflagrazione* quando la reazione esotermica si propaga a velocità inferiore a quella del suono (nell'ordine delle centinaia di metri al secondo) e nel caso si determinano aumenti della pressione 8 volte maggiori della pressione iniziale; si parla invece di *detonazione* se la velocità della reazione è superiore di quella del suono (340 m/s) nel qual caso si determinano aumenti della pressione di 20 volte la pressione iniziale. Mentre nelle deflagrazioni l'onda di pressione (onda d'urto) è molto più veloce dell'onda di combustione, nella detonazione le due velocità differiscono solo lievemente in dipendenza di diversi fattori (il tipo di combustibile, il rapporto di miscelazione col comburente, la pressione esterna o la temperatura). Impropiamente si adopera il termine di esplosione per alcuni fenomeni che non costituiscono in effetti esplosioni termiche:

- 1) **Bleve:** esplosione connessa alla rottura di recipienti contenenti gas liquefatti sotto pressione, per cause accidentali o perché esposti a fonte di calore. Poiché il liquido nel contenitore è a una temperatura molto al di sopra del suo punto di ebollizione a pressione atmosferica, nel momento della rottura del recipiente, la pressione interna decresce rapidamente e una parte del liquido evapora rapidamente producendo un volume di vapore notevolmente maggiore del volume del liquido; la rapida esplosione dei vapori determina così una vera e propria onda d'urto meccanica che può portare alla proiezione di frammenti del contenitore a distanza; inoltre se la sostanza è infiammabile per effetto della vaporizzazione del prodotto si può determinare una nube ulteriormente suscettibile di esplosione termica.
- 2) **Esplosioni fisiche:** fenomeni che si determinano per effetto del contatto esteso e immediato di liquidi molto caldi o di metalli fusi o

liquidi criogenici con l'acqua e qualora il vapore derivante dal fenomeno risulti infiammabile ne può conseguire un'esplosione termica.

- 3) **Scoppi da sovrappressioni:** fenomeni che si determinano per cedimento meccanico di tubazioni o recipienti attraversati o contenenti fluidi sotto pressione accompagnati da un'onda d'urto meccanica e proiezione di frammenti e in seguito al rilascio nello scoppio di sostanze combustibili prodotte ne può conseguire, in presenza di temperatura di accensione, un incendio o un'esplosione termica.

3.6.1 Esplosione di miscele infiammabili di gas o vapori

In caso di miscele aeriformi combustibili con aria confinate all'interno di locali o recipienti, con composizione compresa tra i limiti di infiammabilità, e per circostanze legate alle caratteristiche dimensionali dei luoghi, cavità o involucri nei quali i fenomeni avvengono, può accadere che la velocità con cui il fronte di fiamma si propaga assuma valori molto elevati da portare a una pressoché istantanea combustione completa di tutta la miscela. Di conseguenza è impedita la propagazione del calore nell'intorno, vista la rapidità della combustione e tutto il calore sviluppato permane nei prodotti della combustione che possono raggiungere temperature e pressioni sufficienti a dar luogo al fenomeno esplosivo e a produrre effetti distruttivi gravi, specie se la miscela satura delle cavità o ambienti chiusi. Se inoltre la velocità con la quale si libera il calore nella reazione è maggiore di quella con la quale il calore si disperde all'esterno, si verifica un aumento istantaneo della temperatura che accelera ulteriormente la velocità di reazione, liberando di conseguenza una quantità ancor maggiore di calore con la miscela che reagisce in tempi brevissimi consumandosi per effetto di un'onda di combustione che accelerandosi a causa della turbolenza e dell'agitazione

della miscela passa da un'onda di combustione lenta a un'onda di detonazione ad alta velocità.

3.6.2 Esplosione di polveri combustibili sospese in aria

Le polveri di sostanze ossidabili sospese in aria presentano gli stessi rischi di incendio e di esplosione dei gas e vapori infiammabili, anche se per l'ignizione occorrono energie sensibilmente più grandi di quelle richieste dalle miscele di gas e vapori in aria. L'incendiabilità ed esplosività dipende da molti fattori tra cui la granulometria e distribuzione delle polveri che possono trovarsi depositate in strati (nel qual caso danno luogo a una normale combustione) o sospese in aria (in cui possono assimilarsi ai gas come comportamento e dar luogo a ignizione o esplosione a seconda se la concentrazione rientra nei limiti di infiammabilità), dalla composizione della miscela, dalla presenza di umidità e dall'energia della sorgente di ignizione.

Le principali norme UNI di riferimento sono: la UNI EN 26184/1 (Determinazione degli indici di esplosioni di polveri combustibili in aria), la UNI EN 26184/2 (Determinazione degli indici di esplosione di gas combustibili in aria), UNI EN 26184/3 (Determinazione degli indici di esplosione di miscele combustibili/aria diverse da miscele polvere/aria e gas/aria).

3.7 Autocombustione

Si verifica l'autocombustione o combustione spontanea [15],[17],[39] quando una sostanza combustibile, senza l'intervento di uno specifico innesco esterno, si ossida naturalmente con progressivo incremento della

velocità di reazione fino a degenerare in una vera e propria combustione. Il fenomeno ha origine da un processo chimico naturale di ossidazione spontanea: quando un materiale combustibile è esposto all'aria si ossida (reazione con produzione di calore) e si verifica una combustione lenta e se il calore non viene disperso da una sufficiente ventilazione il combustibile continua a ossidarsi e a riscaldarsi fino ad arrivare alla temperatura di ignizione e si ha la trasformazione da combustione lenta in combustione viva (autocombustione). Il processo può essere attivato da diversi fattori:

- ✓ reazione chimica diretta di ossidazione all'aria ad azione rapida e talvolta istantanea (polveri metalliche, magnesio, trucioli) o ad azione lenta (carboni, oli, stracci unti);
- ✓ iniziale azione di microrganismi, fenomeno di fermentazione con sviluppo di sostanze gassose e innalzamento della temperatura (farine, carta da macero, oli vegetali ed animali);
- ✓ reazione con l'acqua o con l'umidità dell'aria (calce, sodio, potassio);
- ✓ decomposizione chimica (perossidi, acetilene, nitrocellulose);
- ✓ azione dell'ossigeno puro (grassi, oli, carbone, vernici);
- ✓ presenza di ossidanti diversi dall'ossigeno o di catalizzatori (fluoro).

Affinché si verifichi l'autocombustione occorre la coesistenza di molti fattori favorevoli: entità del cumulo (infatti se le sostanze sono immagazzinate a mucchi può accadere che il calore prodotto non riesca a disperdersi all'esterno e si accumula nella massa della sostanza e la temperatura interna si innalza sempre più, determinando un'accelerazione della reazione e ulteriore sviluppo di calore finché può raggiungersi la temperatura di accensione), particolare geometria della superficie esterna che renda il contatto combustibile-comburente elevato, presenza di umidità nel caso di innesco di fenomeno per trasformazione batterica, presenza di sufficiente quantità di aria all'interno della massa, scarsa ventilazione, temperatura ambientale senza notevoli escursioni (la temperatura elevata è una condizione maggiormente predisponente per l'autocombustione).

Si possono suddividere le sostanze in materiali ad *alto rischio* di combustione spontanea (carbone di legna, colori ad olio, olio di lino e di pesce, stracci o tessuti di seta, cotone, canapa etc. imbevuti di colori ad olio), in materiali a *basso rischio* (acqua ragia vegetale, semi di cotone, olio di arachidi, di palma) e materiali a *rischio moderato* (feltri e cartoni bitumati, carta da macero umida, cuoi, fertilizzanti, stracci di lana unti, vernici raschiate, sintetici contenenti nitrati e materiale organico).

3.8I prodotti della combustione

I prodotti della combustione [20],[22],[24] possono essere suddivisi in 4 categorie: gas di combustione, fiamma, calore e fumo. Per **gas di combustione** si intendono quei prodotti della combustione che restano allo stato gassoso anche quando vengono raffreddati alla temperatura ambiente (15 °C), quindi non è compreso il vapore d'acqua che alla temperatura ambiente è liquido. I gas che si formano, prodotti corrosivi e tossici, dipendono da molte variabili, ma essenzialmente dalla composizione chimica dei combustibili, dalla quantità di ossigeno disponibile e dalla temperatura che si raggiunge durante l'incendio. Tra i gas di combustione troviamo innanzitutto anidride carbonica CO_2 (gas asfissiante) se è presente ossigeno in abbondanza, ossido di carbonio CO (tossico e costituisce il pericolo più grande) se l'ossigeno è scarso, poi si può trovare idrogeno solforato H_2S (derivante da materiali contenenti zolfo come gomma, lana e pelli, è tossico se in percentuali elevate), anidride solforosa SO_2 (irritante), acido cianidrico HCN (altamente tossico anche se si forma in quantità modeste generalmente), acido cloridrico HCl (altamente corrosivo, deriva dalla combustione di sostanze contenenti cloro come le materie plastiche), vapori nitrosi (ossido e perossido di azoto altamente tossici), fosgene COCl_2 (altamente tossico, è

presente nella combustione di materiali contenenti cloro), ammoniaca NH_3 (sostanza intossicante, derivante da materiali contenenti azoto) ed aldeide acrilica o acroleina CH_2CHCHO (altamente tossica derivante dalla combustione di prodotti derivati dal petrolio), acido fluoridrico (tossico e prodotto dalla combustione di quasi tutte le materie plastiche).

Il **calore** è l'energia che si sviluppa durante la combustione ed è la causa principale della propagazione dell'incendio determinando l'innalzamento della temperatura dell'ambiente e del sistema combustibile/comburente, è la causa dei danni arrecati al patrimonio e rappresenta un pericolo per le persone. Il flusso di energia termica procede sempre nel verso delle temperature decrescenti e cessa quando l'energia cinetica media perviene a un identico valore o livello. La trasmissione del calore è noto che può avvenire [15] per conduzione (il calore si trasferisce da un corpo ad un altro per diretto contatto) per irraggiamento o radiazione (il calore si trasferisce da un corpo all'altro, anche distanti fra loro, attraverso dei raggi calorifici che attraversano lo spazio interposto in tutte le direzioni) e per convezione (la trasmissione del calore avviene per interposizione di un fluido, un gas o un liquido).

Il **fumo** è costituito da piccole particelle solide (aerosoli), liquide (nebbie) o vapori condensati in sospensione nell'aria. Le particelle solide sono costituite da catrami, particelle di carbonio, nerofumo ed altre sostanze incombuste presenti specie quando la combustione è incompleta perché avviene in mancanza di ossigeno e vengono trascinati dai gas caldi della combustione; le particelle liquide sono costituite essenzialmente da vapore d'acqua che si forma per evaporazione dell'umidità dei combustibili, ma soprattutto dalla combustione dell'idrogeno. Tale vapore d'acqua, quando i fumi si raffreddano al di sotto di $100\text{ }^\circ\text{C}$, condensa dando luogo a dei *fumi bianchi*, mentre i residui solidi, costituiti da incombusti e ceneri hanno invece colore nero. Il fumo si diffonde con velocità dell'ordine dei m/s arrecando danni al patrimonio e risulta pericoloso per le persone causando difficoltà di

respirazione, soffocamento e scarsa visibilità ostacolando così sia la fuga delle persone che l'opera dei soccorritori.

Le **fiamme** sono costituite dall'emissione di luce conseguente alla combustione di gas sviluppatasi in un incendio e rappresentano il principale veicolo dell'incendio permettendone la veloce propagazione oltreché un pericolo per le persone. In particolare nell'incendio di combustibili gassosi è possibile valutare dal colore della fiamma approssimativamente il valore raggiunto dalla temperatura di combustione [46].








<i>Colore della fiamma</i>		<i>Temp. (°C)</i>
Rosso nascente		525
Rosso scuro		700
Rosso ciliegia		900
Giallo scuro		1100
Giallo chiaro		1200
Bianco		1300
Bianco abbagliante		1500

Figura 3. 9 – Scala cromatica delle temperature nella combustione dei gas

3.9 Dinamica di sviluppo di un incendio

Esistono [17],[22],[27],[39],[41e 42] due diverse teorie relative alle fasi di un incendio per quanto riguarda l'andamento della temperatura in funzione della variabile tempo:

- ✓ la prima suddivide in 3 fasi l'incendio (accensione, incendio vero e proprio ed estinzione), considerando il flash over (punto culmine

dell'accensione) come il punto finale della prima fase ovvero il passaggio dalla fase di accensione a quella di incendio vero e proprio;

- ✓ la seconda individua 4 fasi (propagazione, flash over, incendio vero e proprio, estinzione) e considera il flash over una fase vera e propria.

Per motivi di chiarezza sembra opportuno considerare la schematizzazione in 4 fasi.

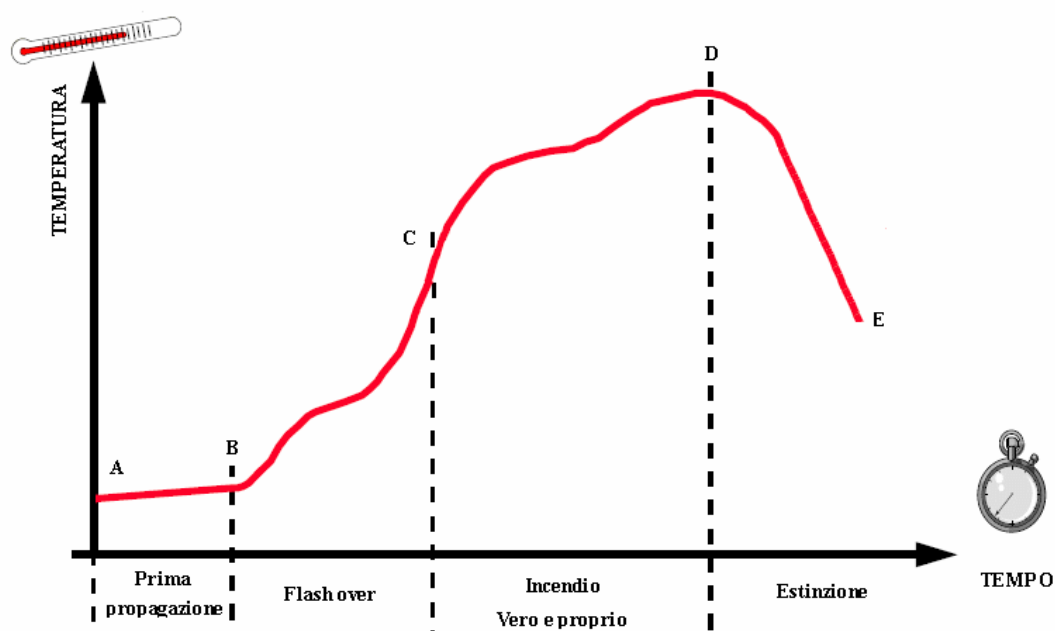


Figura 3. 10 - Diagramma temperatura tempo dell' incendio

La **prima fase**, susseguente all'innesco, è detta di *ignizione* (o di sviluppo o di prima propagazione e talvolta anche di induzione o covante) e il diagramma della temperatura T in funzione del tempo t presenta un andamento rettilineo indicante un aumento della temperatura proporzionale al trascorrere del tempo, ciò è dovuto fondamentalmente ad un ambiente freddo in cui il calore viene disperso e a quantità di calore prodotte che risultano modeste per effetto della dispersione, dell'evaporazione dell'umidità dei combustibili solidi e per la cessione del calore al combustibile e alle strutture. L'inclinazione della retta e quindi la velocità dell'aumento di temperatura dipende dalle caratteristiche chimiche della sostanza, dalla disposizione delle



sostanze combustibili e dalla presenza di discontinuità che ostacolano la propagazione, dallo stato di suddivisione del materiale, dalle condizioni di ventilazione. La maggior parte del calore prodotto dal focolaio di incendio è assorbita dai materiali circostanti per cui il fuoco può impiegare tempi anche molto lunghi prima di propagarsi all'intorno e sfociare in un incendio vero e proprio. Affinché i materiali solidi brucino, occorre infatti provocare innanzitutto l'evaporazione dell'umidità contenuta dopodiché verrà indotta la pirolisi, per cui la temperatura stazionerà per il tempo occorrente alla evaporazione su temperature di poco superiori ai 100 °C; poi, eliminata l'umidità, la temperatura aumenta. In questa fase le temperature sono piuttosto basse, con l'incendio che inizia con emissione di aerosol invisibili, avvertibili all'olfatto (*puzza di bruciato*) o con specifici rivelatori d'incendio. Successivamente inizia l'emissione di fumo visibile, seguito da emissione di piccole fiamme, che poi divengono sempre più vivaci ma il fuoco non risulta esteso a tutto il sistema, i danni sono lievi, lo spegnimento dell'incendio è facilmente ottenibile attraverso un intervento dei soccorritori, non pericoloso e le persone presenti possono tranquillamente porsi in salvo. Tale prima fase di sviluppo può essere brevissima, ma può anche durare per tempi lunghi (*minuti o ore*), in dipendenza delle caratteristiche del combustibile e dell'ambiente.

La **seconda fase**, di passaggio dalla fase di prima propagazione a quella di propagazione generalizzata, è detta *flash over* e il diagramma della temperatura T in funzione del tempo t presenta un andamento esponenziale indicante un aumento notevole della temperatura in un breve intervallo di tempo. In questa fase si verifica una notevole produzione di gas di distillazione che con l'aria dell'ambiente formano una miscela infiammabile innescata grazie alla temperatura raggiunta nella fase iniziale, dando inizio così a una combustione in fase gassosa, con i fuochi conseguenti che aumentano di numero e intensità e temperature che tendono a uniformarsi nei diversi punti. Si sviluppa in questo modo una notevole quantità di calore, con



la temperatura che si innalza rapidamente (si raggiungono temperature di 600 °C) grazie a una minore dispersione di calore e a una maggiore velocità di combustione delle sostanze coinvolte che passa da $0,5 \div 1$ kg/minuto dell'inizio combustione a 15 kg/min dopo il flash over. Questa fase si sviluppa dopo un tempo dall'accensione variabile da qualche minuto fino a $15 \div 20$ minuti con normali condizioni di alimentazione dell'aria e fino a 30 minuti per scarsa alimentazione dell'aria. Il flash over è un punto di non ritorno, uno stadio irreversibile, visto che l'incendio diventa incontrollabile e violento e al di là del quale vi è scarsa possibilità che l'incendio si spenga da solo prima che il combustibile sia esaurito, per cui è la fase più pericolosa dello sviluppo dell'incendio in quanto qualsiasi persona si trovasse nel luogo del sinistro non riuscirebbe a sopravvivere a causa delle condizioni ambientali che si verificano con spegnimento del fuoco che diventa difficoltoso e pericoloso per i soccorritori, per cui per contenere i danni occorre intervenire prima del flash over. I soffitti dei siti interessati dall'incendio e le parti alte delle pareti assorbono calore e lo irradiano verso il basso e si verifica un effetto feedback per il quale man mano che procede l'incendio si ripete il processo con il susseguente riscaldamento dei gas combustibili formati e dei materiali presenti. Una volta raggiunta la temperatura di ignizione tutti i materiali presenti prendono fuoco simultaneamente con conseguente combustione generalizzata e passaggio alla fase di incendio vero e proprio.

La **terza fase** è detta fase di *incendio vero e proprio* (o centrale) in cui l'incendio manifesta al massimo i suoi elementi caratteristici (fiamme, fumo, calore), vede un andamento della temperatura prima crescente molto rapidamente ed in modo esponenziale e poi più lentamente fino al raggiungimento della massima temperatura (1100 °C), per poi stabilizzarsi e successivamente decrescere verso la fase finale dell'incendio. In caso di incendi di lunga durata la temperatura potrebbe anche stabilizzarsi qualora i fenomeni termodinamici interni ed esterni all'ambiente si stabilizzassero anch'essi. Ciò in realtà è impedito da altre condizioni come l'azione

contrapposta dell'ossigeno dell'aria che da un lato, alimentando la combustione, contribuisce all'innalzamento della temperatura e dall'altro asporta il calore per convezione, determinando un raffreddamento dell'ambiente ed abbassamento della temperatura raggiunta. In questa fase si assiste al coinvolgimento nel processo di combustione di tutte le sostanze combustibili presenti nell'ambiente e si possono verificare situazioni che espandono l'incendio come il cedimento di strutture, l'irraggiamento termico o la trasmissione del calore attraverso strutture, tiraggio, fiamme che escono da aperture ed interessano zone sovrastanti, gas combustibili che non bruciano per carenza di comburente ma trasportati fuori trovano aria sufficiente all'innesco, trasporto di particelle incandescenti (faville).

Infine la **quarta fase** è detta di *estinzione* (o raffreddamento); dopo un tempo variabile in dipendenza della quantità del combustibile, del suo stato di suddivisione e delle condizioni di ventilazione ed a prescindere da eventuali azioni di spegnimento, la temperatura decresce più o meno rapidamente per effetto del minor apporto di calore dovuto all'esaurirsi del combustibile e alla dissipazione di calore attraverso i fumi e di fenomeni di conduzione termica e quando la temperatura scende a 300 °C, con tendenza ulteriore a ridursi, l'incendio si considera esaurito.

Vediamo ora l'influenza che può avere un intervento esterno sull'incendio per capire anche come può essere organizzato:

- ✓ un intervento in fase di ignizione determina l'interruzione del fenomeno e poiché c'è un limitato sviluppo di energia termica, basterà una limitata energia d'intervento;
- ✓ un intervento in fase immediatamente successiva al flash over, risulta inutile, perché la potenza che in quel momento si sta sviluppando non può essere contrastata da una adeguata potenza estinguente; anzi trovarsi sul posto proprio al momento del flash over è cosa abbastanza pericolosa, inoltre può succedere che aprendo il locale ove già da

tempo è stata raggiunta la temperatura di flash over e quindi è in atto la fase di distillazione, si fornisce l'ossigeno per l'inflammation generalizzata;

- ✓ un intervento che avviene durante l'incendio vero e proprio, determina una caduta più o meno rapida della curva $T = f(t)$ in dipendenza del rapporto esistente tra la potenza dell'incendio e la potenza dei mezzi estinguenti. Certamente a quel punto è difficile conseguire la salvezza delle cose e delle persone coinvolte. Per cui è necessario disporre di uomini e di mezzi estinguenti in quantità adeguata a difendere anche le altre strutture attigue per modo che l'incendio non avanzi per conduzione, convezione o irraggiamento. Solo dopo essersi assicurati che l'incendio non può progredire è necessario affrontarlo impiegando con la massima efficacia possibile le risorse estinguenti disponibili;
- ✓ infine un intervento che avviene in fase di esaurimento dell'incendio, abbrevierà solamente la durata di tale fase.

3.9.1 Osservazioni sulla curva $T = f(t)$

Nella terza fase di incendio vero e proprio [29] si ha un andamento molto rapido in quanto in essa si verifica il massimo gradiente di temperatura e una notevole influenza dell'apporto di ossigeno e della ventilazione; infatti se vi è carenza di ossigeno viene ostacolata la formazione della miscela di vapori e ossigeno con gradiente risultante avente valore non elevato. Inoltre anche la temperatura massima risulta influenzata dalla presenza di ossigeno: se un ambiente è poco ventilato si produrrà molto fumo e le temperature risulteranno più basse, mentre se è troppo ventilato grandi quantità di calore saranno sottratte. Essendo le temperature di combustione generalmente superiori ai 1000 °C, la temperatura massima di un ambiente interessato ad un incendio si assume tra 850 °C e 950°C e una volta raggiunta non potrà



essere mantenuta ma tenderà a decrescere lentamente in quanto si verificano fenomeni di incenerimento che ostacolano il contatto tra ossigeno e combustibile e rallentano le vaporizzazioni successive. Pertanto allo stato attuale della ricerca teorica e sperimentale non risulta possibile individuare delle relazioni che permettano di prevedere in un incendio reale l'energia termica sviluppata, la massima temperatura raggiunta nei vari punti dell'ambiente interessato e la durata effettiva della combustione a causa dei molteplici parametri da tenere in considerazione e che interessano il fenomeno. Però al fine di stabilire il minimo grado di resistenza al fuoco che debbano avere le strutture e i materiali da utilizzare nelle costruzioni per evitare pericoli in caso di incendio occorre disporre di valori di riferimento delle temperature massime raggiungibili in un dato ambiente in relazione alla durata dell'incendio. A tale scopo sono state effettuate delle prove di incendio in scala reale utilizzando come materiale combustibile legno asciutto (avente un potere calorifico noto e pezzature calibrate) e variandone il rapporto fra il peso e la superficie dell'ambiente. In questo modo sono state ottenute delle famiglie di curve parametriche in cui la temperatura massima ambientale mostrava una tendenza alla stabilizzazione con il crescere del quantitativo di combustibile bruciato piuttosto che una crescita indefinita. Questa curva, detta *curva standard* viene utilizzata nella costruzione di elementi soggetti a rischio incendio e ad essa bisogna attenersi per la crescita della temperatura nelle prove di resistenza al fuoco dei materiali.

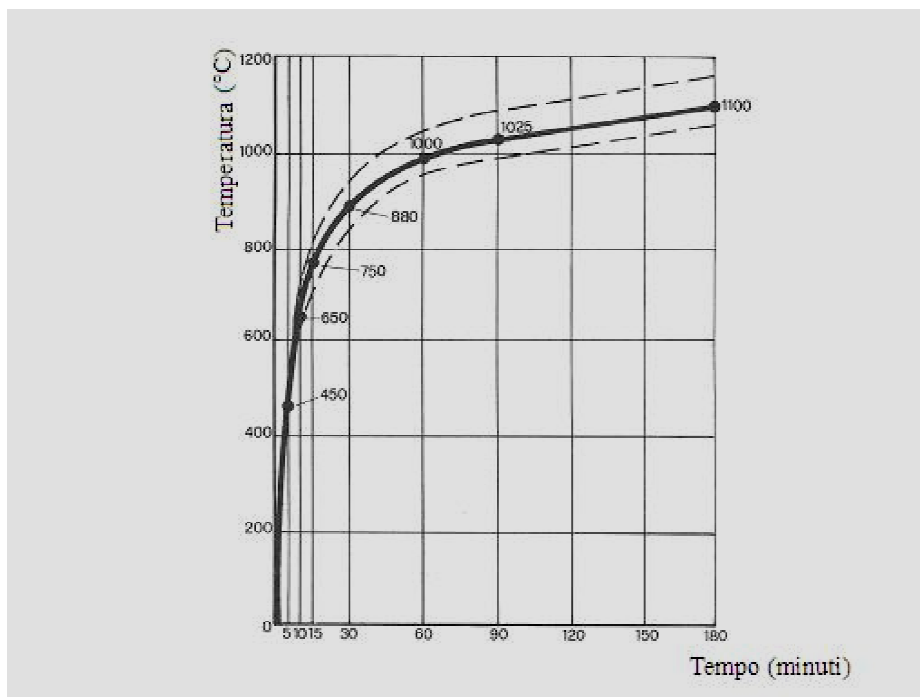


Figura 3.11 - Curva standard temperatura-tempo

In realtà [24] essa non deve essere considerata l'andamento effettivo di un qualsiasi incendio reale in quanto: non fornisce informazioni sulla fase decrescente dell'incendio, essendo sempre crescente col tempo; non fornisce indicazioni sulle temperature durante il flashover o quando partecipano alla combustione materie plastiche combustibili allo stato espanso; non tiene conto del tiraggio; non fornisce la temperatura media effettiva di un ambiente colpito da incendio. Sperimentalmente si è notato che era possibile correlare il peso in chilogrammi per metro quadrato di legno secco utilizzato per alimentare gli incendi con la loro durata e la temperatura massima associata a tale durata che veniva fornita dalla curva temperatura – tempo, per cui noto il quantitativo di legna secca impegnata dalla curva standard si può leggere in corrispondenza della durata dell'incendio la temperatura massima che può instaurarsi.

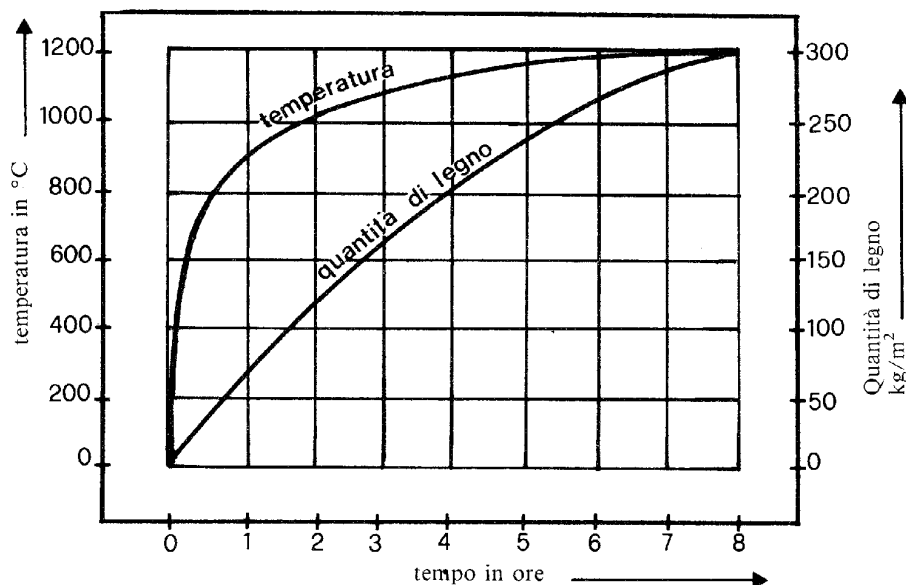


Figura 3. 12 - Temperatura massima e durata combustione per quantità ideali di legno

Occorre ribadire che si tratta solo di un parametro ideale di riferimento in quanto nell'incendio reale le cose vanno diversamente⁷.

3.10 Estinzione degli incendi

Per estinzione [19 e 20],[22],[24],[27],[43],[13] si intende il completo e definitivo spegnimento non solo delle fiamme, parte più evidente del fenomeno, ma anche delle braci; si può definire come quello stadio da cui si ha la certezza di non riaccensione dell'incendio anche in assenza di azioni di controllo. Per conseguire lo spegnimento occorre intervenire sui fattori che autosostengono la combustione, sconnettendo il triangolo del fuoco, utilizzato per rappresentare le condizioni che permettono l'innesco, e rompendone almeno uno dei lati. Questa operazione può essere effettuata adottando i seguenti sistemi:

⁷ Per il calcolo del carico di incendio si rimanda al paragrafo 3.17.4.

- ✓ Separazione (rimozione del combustibile);
- ✓ Soffocamento (rimozione del comburente);
- ✓ Raffreddamento (sottrazione di calore);
- ✓ Estinzione chimica o anticatalisi;
- ✓ Estinzione meccanica.

La **separazione** consiste nell'allontanamento del materiale combustibile dal focolaio dell'incendio; ciò può attuarsi in diversi modi oltre che con la rimozione delle sostanze, attraverso sistemi che intercettano i flussi dei fluidi combustibili (liquidi e gassosi) nelle tubazioni, o diluendo i vapori e gas per portarsi al di fuori del campo di infiammabilità, o trasferendo i combustibili in contenitori sicuri, infine con l'utilizzo di fasce tagliafuoco che schermano e isolano opportunamente. Il **soffocamento** si ottiene o separando il combustibile dal comburente attraverso l'interposizione fra il materiale che brucia e l'aria dei mezzi di separazione in modo che l'ossigeno dell'aria non riesca ad alimentare la combustione (interponendo ad esempio o uno strato di schiuma o di sostanze con grado di reazione al fuoco pari a zero o estinguenti o immettendo acqua nebulizzata) oppure riducendo la concentrazione del comburente in aria e quindi diluendo l'ossigeno presente al di sotto del tenore necessario a sostenere l'incendio (immettendo dei gas inerti o azoto). Il **raffreddamento** consiste nella sottrarre quanto più calore possibile all'incendio stesso attraverso l'uso di agenti estinguenti in modo da abbassare la temperatura al di sotto di quella di accensione necessaria al mantenimento della combustione. L'**estinzione chimica o anticatalitica** consiste nell'impiego di sostanze estinguenti a base di idrocarburi alogenati (fluoro, cloro, bromo, carbonio, iodio) in grado di inibire chimicamente la combustione in quanto decomponendosi, influiscono negativamente sui processi di ossidazione e danno luogo all'arresto delle reazioni a catena estinguendo dunque l'incendio. Infine l'**estinzione meccanica** consiste nello schiacciamento del combustibile con azione meccanica ottenendo così una suddivisione che incrementa la superficie del materiale da raffreddare. Le



operazioni viste possono essere utilizzate o singolarmente o contemporaneamente e impiegando in funzione della natura dei combustibili e delle dimensioni del fuoco opportune sostanze estinguenti.

3.11 Le sostanze estinguenti

Le principali sostanze estinguenti [16 e 17], [26], [44 a 46], {14} normalmente utilizzate per combattere gli incendi sono:

- ✓ Acqua;
- ✓ Schiuma;
- ✓ Polveri chimiche;
- ✓ Gas inerti;
- ✓ Idrocarburi alogenati;
- ✓ Sabbia;
- ✓ Altri.

3.11.1 Acqua

L'acqua è l'agente estinguente per eccellenza da sempre utilizzato, ha il pregio di essere il più economico e tuttora insostituibile essendo anche facile da reperire ed utilizzabile in grandi quantitativi. La sua funzione è duplice in quanto serve da un lato a spegnere l'incendio, dall'altro a contenerne l'espansione ed agisce sull'incendio con azione:

- ✓ di **separazione** (formando uno strato impermeabile tra combustibile e aria circostante per cui inibisce la combustione);



- ✓ di **diluizione** (formando vapore acqueo che da un lato diluisce l'ossigeno dell'aria rendendo meno combustibili le sostanze incendiate e dall'altro esercita anche una azione di soffocamento);
- ✓ di **disgregazione** (per effetto dell'energia del getto impedisce il contatto tra combustibile che brucia e quello non ancora bruciato);
- ✓ di **raffreddamento** (sottraendo calore fino a temperatura al di sotto di quella di accensione e di quella occorrente al mantenimento del processo di pirolisi che alimenta le fiamme).

L'acqua è indicata per sostanze solide, sostanze infiammabili più pesanti dell'acqua o più leggere e miscibili con essa ma non deve essere impiegata allorquando gli incendi coinvolgono:

- ✓ conduttori in tensione sia perché essendo conduttrice può causare pericoli di elettrocuzione ma anche per il pericolo di ponti elettrici dannosi per le apparecchiature a meno che non sia finemente nebulizzata;
- ✓ sostanze che a contatto con essa rilasciano gas tossici e corrosivi;
- ✓ sostanze che reagiscono in modo violento e pericoloso a contatto con essa sviluppando sostanze infiammabili ad esempio come il sodio e potassio che liberano idrogeno, il carburo di calcio che sviluppa acetilene oppure carburi, magnesio zinco e alluminio ad alte temperature;
- ✓ materiali fondenti come l'acciaio ad elevata temperatura che possono proiettare a distanza materiale caldissimo;
- ✓ materiali e apparecchiature di valore che potrebbero danneggiarsi;
- ✓ liquidi a basso punto di infiammabilità e più leggeri dell'acqua posti in contenitori aperti che traboccherebbero per l'affondamento dell' acqua stessa.

Se nebulizzata (sistemi water mist), cioè finemente suddivisa in minutissime goccioline, per effetto dell'alta pressione offre rendimenti superiori ai getti pieni e consente di operare sia in vicinanza di componenti elettrici sotto



tensione che su alcuni liquidi infiammabili. Con l'aggiunta di additivi solubili che migliorano le capacità bagnanti si può migliorare la sua capacità penetrativa e l'efficacia di estinzione su incendi di classe A e B1 mentre con alcuni prodotti ritardanti se ne possono prolungare gli effetti impedendo e ritardando l'ignizione.

3.11.2 Schiuma

Poiché l'acqua non estingue gli incendi di liquidi infiammabili aventi peso specifico inferiore si è pensato di alleggerire l'acqua miscelandola con dei composti che formino bolle d'aria o altro gas ottenendo la cosiddetta schiuma antincendio che è quindi un'emulsione di aria con una soluzione acquosa di schiumogeni. Per la produzione occorre prima miscelare l'acqua con un liquido schiumogeno, che così costituiscono la soluzione schiumogena, e successivamente miscelare quest'ultima con aria. Solitamente si individuano due tipi fondamentali di schiume:

- ✓ **chimiche** formate dall'anidride carbonica sviluppata dalle reazioni chimiche di sali alcalini in soluzione ed acidi e in presenza di appropriati agenti schiumogeni;
- ✓ **meccaniche** formate dall'inglobazione meccanica di aria in una soluzione schiumogena.

Si definisce **rapporto di espansione *RE*** il rapporto tra il volume di schiuma prodotta e quello della soluzione schiumogena di partenza ossia i litri di schiuma ottenuti da un litro di schiumogeno ed in base a questo si suole suddividere le schiume in:

- ✓ **schiume a bassa espansione** con $1 < RE < 20$ adatte per incendi di liquidi infiammabili e anche per materiali solidi, agiscono formando una coltre sui materiali incendiati; vengono suddivise in classi a



seconda del tempo di estinzione e livelli a seconda della resistenza alla riaccensione;

- ✓ **schiume a media espansione** con $20 < RE < 200$ usate per grandi superfici all'aperto o locali;
- ✓ **schiume ad alta espansione** con $RE > 200$ usate per ambienti di grandi volumi in cui non è possibile accedere a causa del fumo e dell'atmosfera irrespirabile e rovente e per essere efficaci devono riempire tutto il volume.

In base alla composizione chimica gli schiumogeni si distinguono in:

- ✓ **proteïnici** derivati da materiali proteïnici idrolizzati combinati con stabilizzanti della schiuma e additivi utilizzati in soluzione acquosa al 3-6% essenzialmente su incendi di prodotti petroliferi (idrocarburi);
- ✓ **fluoro proteïnici** ottenuti da soluzioni a base proteïnica con l'aggiunta di tensioattivi fluorurati, utilizzati per incendi di idrocarburi; la schiuma ottenuta è più scorrevole della proteïnica ed è autosigillante, tende cioè a ricomporre la coltre formata nelle zone dove viene rotta;
- ✓ **sintetici** formati da miscela di tensioattivi sintetici solubili in acqua, derivati da idrocarburi, con eventuali stabilizzanti addizionali utilizzati in soluzione acquosa al 3-6%, sono in grado di produrre in tempi brevi grandi volumi con piccole quantità di acqua ma sono sensibili alle correnti di aria per cui adatti nel sottosuolo;
- ✓ **filmanti** formati da miscela di tensioattivi a base idrocarburica, o proteïnica e tensioattivi fluorurati, sono denominati AFFF (aqueous film forming foam); sono impiegati per la formazione di schiuma a bassa e media espansione, in grado di formare una pellicola continua acquosa sulla superficie degli idrocarburi che tende a ricomporsi se lacerata autocicatizzando le proprie lacerazioni, impedendo il rilascio di vapori dalle superfici ricoperte e impedendo le riaccensioni abbattute le fiamme;



- ✓ **solventi polari** o alcoli resistenti composti da liquido proteinico che grazie a particolari additivi formano bolle resistenti ai solventi polari (alcoli, eteri, acetone).

Le schiume una volta formate e versate sulle superfici incendiate formano una coltre continua, grazie alle forze di attrazione che si esercitano tra le pellicole delle bolle, che isola le sostanze combustibili rispetto all'ossigeno dell'aria, raffredda le superfici, soffoca le fiamme, satura le cavità piene d'aria, protegge e coibenta i materiali, impedisce le evaporazioni di liquidi ed infine estingue.

In definitiva la schiuma è indicata per incendi di liquidi infiammabili e controindicata per conduttori elettrici in tensione, per incendi di classe C (gas), per prodotti che reagiscono violentemente e in maniera pericolosa con l'acqua (carburo di calcio che sviluppa acetilene, sodio e potassio che producono idrogeno, magnesio, zinco ed alluminio ad elevata temperatura che sviluppano gas infiammabili).

3.11.3 Polveri chimiche

Le polveri estinguenti sono miscele di particelle solide finemente suddivise costituite da sali organici, da sostanze naturali o da sostanze sintetiche che possono essere proiettate, mediante l'uso di gas propellenti in pressione e attraverso appositi erogatori sulle fiamme.

L'azione di spegnimento avviene:

- ✓ per **separazione** del combustibile dall'aria per formazione di una coltre che soffoca la combustione;
- ✓ per **diluizione** della percentuale di ossigeno dell'aria a causa della diffusione dei grani di polvere e dell'anidride carbonica prodotta a contatto con le fiamme;

- ✓ per **raffreddamento** del combustibile a causa dell'assorbimento seppur modesto da parte della polvere del calore della reazione;
- ✓ per **catalisi negativa** delle singole reazioni poiché a causa della formazione di alcuni prodotti intermedi, come i radicali liberi, si determinano il rallentamento e l'arresto della reazione di combustione.

Le polveri più usate sono a base di bicarbonato di sodio NaHCO_3 cui vengono aggiunti agglomeranti e sostanze favorenti la fluidità nel tempo e consentono lo spegnimento dei liquidi infiammabili e di gas, possono essere impiegate su apparecchiature elettriche sotto tensione ma non sono efficaci sugli incendi di materiali solidi non essendo in grado di eliminare le braci incandescenti e raffreddare a sufficienza, per cui esaurita la polvere l'incendio può riprendere facilmente. Altri tipi di polveri dette polivalenti o universali vengono utilizzate per incendi di classe A (solidi) mentre quelle dette speciali sono destinate a usi specifici.

3.11.4 Gas inerti

1) Anidride carbonica

L'anidride carbonica è un gas inerte, incombustibile e incomburente, perfettamente dielettrico, pesante 1,53 volte più dell'aria, conservato in serbatoi sotto pressione e allo stato liquido essendo facilmente liquefattibile alle temperature ordinarie con pressioni di 50 bar, non tossico, ha il pregio di estinguere gli incendi senza lasciare residui sui materiali investiti né operare danneggiamenti ma diventa pericoloso in luoghi chiusi senza le adeguate precauzioni, essendo asfissiante in quanto riduce il contenuto di ossigeno, per cui prima dell'immissione nell'ambiente interessato dall'incendio è necessario l'esodo delle persone. I recipienti devono essere resistenti alle alte pressioni e provati ad almeno 250 bar in quanto come per tutti i gas la



pressione che esercita cresce con la temperatura (ed infatti mentre a 20 °C la pressione è di 50 bar, a 40 °C è già di 140 bar) per cui i recipienti sono molto pesanti e devono essere muniti di dispositivi di sicurezza contro pericolose sovrappressioni; inoltre occorre proteggerli dalla corrosione che può avvenire se contengono tracce di acqua. Il dispositivo terminale degli erogatori di CO₂ è costituito solitamente da un tromboncino, di materiale non metallico, conico per favorire l'erogazione, la formazione di neve carbonica e l'avvicinamento al focolaio di incendio con buona visibilità. Conservata quindi liquida ha la caratteristica, non appena posta in contatto con l'aria, di passare allo stato di vapore, per i due terzi, espandendosi di circa 350 volte, penetrando nelle cavità ed esplicando azione soffocante e di raffreddamento, mentre il terzo restante solidifica e diffonde nell'aria sotto forma di minutissime particelle (fiocchi bianchi), detti *neve carbonica* (-57°C), che assume poi forma compatta e dura raffreddandosi ulteriormente (ghiaccio secco -79 °C). Può essere usato in qualsiasi tipo di incendio (fuochi di classe A,B,C) compreso quello di apparecchiature elettriche sotto tensione, ma non spegne la brace e fuochi di classe D, non è utilizzabile su apparecchiature sensibili a bruschi raffreddamenti, con idruri metallici, con prodotti contenenti l'ossigeno necessario per la combustione, o in presenza di cianuri alcalini (dando luogo con questo ad acido cianidrico, un gas molto tossico) ed è poco efficace in luoghi aperti.

L'azione estinguente avviene per:

- ✓ **soffocamento:** in quanto essendo più pesante dell'aria tende ad avvolgere i materiali ostacolando la combustione;
- ✓ **raffreddamento:** in quanto l'espansione in fase di scarica provoca un brusco abbassamento della temperatura per effetto del passaggio da liquido a gas;
- ✓ **diluizione:** riducendo la concentrazione d'ossigeno nell'aria al di sotto del limite di mantenimento della combustione;



- ✓ **inibizione:** per effetto delle particelle solide di neve carbonica e di ghiaccio secco che agiscono così come le polveri inibendo la combustione.

2) *Argon*

L'argon è un gas inerte, incolore, inodore, non tossico, dielettrico, ecologico, ad impatto ambientale nullo, non dà luogo a residui e corrosione, agisce per riduzione della concentrazione di ossigeno e viene utilizzato per incendi di materiali liquidi, solidi, elettrici ed elettronici in particolare.

3) *Azoto*

Anch'esso è un gas inerte, inodore ed ecologico non avendo effetti sulla distruzione dell'ozono atmosferico, dielettrico, non lascia residui, non danneggia i materiali, non è dannoso per le persone, agisce diluendo l'ossigeno così da far cessare la combustione portando al di fuori dei limiti di infiammabilità e viene usato per lo spegnimento di materiali solidi, liquidi ed elettrici.

3.11.5 Idrocarburi alogenati

Si definiscono idrocarburi alogenati o alocarburi o halon derivati fluorurati, clorurati, bromurati e iodurati di idrocarburi saturi (in cui gli atomi di idrogeno sono stati sostituiti parzialmente o totalmente con atomi di cloro, bromo o fluoro e iodio). Questi composti hanno eccellenti proprietà estinguenti, consentono la riutilizzazione degli oggetti dopo l'estinzione, non sono corrosivi, si conservano allo stato liquido e sono facilmente vaporizzabili, richiedono piccole quantità per estinguere ed agiscono per inibizione delle reazioni a catena della combustione. I più noti sono il

bromotrifluorometano CBrF_3 o Halon 1301 (i numeri della sigla dell'halon indicano nell'ordine il numero di atomi di carbonio, fluoro, cloro, bromo e iodio contenuti nella molecola) o BTM, il bromoclorodifluorometano CBrF_2Cl o Halon 1211 o BCF, il bromotetrafluoroetano $\text{C}_2\text{Br}_2\text{F}_4$ o Halon 2402 o fluorbrene. In realtà poiché a tali sostanze è stata attribuita la responsabilità del progressivo deterioramento della fascia di ozono che preserva la terra dalle radiazioni solari con la legge n°549 del 28/12/1993 modificata dal D.L. 10/02/1996 e dalla legge n°179 del 16/06/1997 sono state emanate norme per la dismissione, il recupero, il riciclo, la rigenerazione e la distruzione degli halon. Successivamente con il D.M. del 3/10/2001 è stato vietato l'uso degli halon tranne che in alcuni casi come negli aerei, imbarcazioni e mezzi militari e piattaforme petrolifere. Per effetto di queste disposizioni si è reso necessario sostituirli negli impianti già in uso, con altri agenti estinguenti che sebbene più costosi non si sono rivelati altrettanto efficaci e che possono essere raggruppati nella famiglia dei “**Clean Agent**” [44] che non rilasciano alcun tipo di residuo, divisi in due categorie: gli *halocarbon* costituiti da singoli idrocarburi alogenati o da miscele di questi utilizzati allo stato di gas liquefatti e *gas inerti* compressi. Il processo di estinzione dei Clean Agents si basa su tre meccanismi che evitano l'autosostentamento degli incendi:

- ✓ **fisico** con la diluizione dell'ossigeno e conseguente riduzione della produzione di calore e soffocamento della fiamma;
- ✓ **chimico** con la decomposizione dell'agente estinguente in presenza di elevato calore e formazione di radicali liberi che catturano l'ossigeno e bloccano la reazione di combustione;
- ✓ **chimico-fisico** con incremento della capacità termica dell'ambiente e quindi della quantità di energia necessaria per innalzare la temperatura dell'aria comburente a quella delle fiamme.

A differenza degli halocarbons che utilizzano tutti e tre i meccanismi, i gas inerti non utilizzano il meccanismo prettamente chimico per cui riducono la

concentrazione di ossigeno e incrementano la capacità termica dell'aria. Possono essere o a *saturatione totale* cioè basati sulla scarica dell'agente in tutto il volume oppure ad *applicazione localizzata* anche se questi sono trascurati a livello tecnologico. Sono adatti per apparecchiature elettriche, incendi di classe B e A con combustione superficiale mentre mal si prestano al controllo di incendi di classe A con formazione di brace.

3.11.6 Altri

Infine esistono anche alcuni sistemi innovativi ancora non adeguatamente normati:

- ✓ i **sistemi aerosol** che utilizzano una sospensione fine di particelle aventi la consistenza di una sottilissima polvere che inibisce chimicamente la combustione;
- ✓ i **sistemi a riduzione del tasso di ossigeno** che si basano sul principio della riduzione dell'ossigeno nell'aria basandosi sul fatto che la combustione risulta impossibile in presenza di concentrazioni di ossigeno inferiori al 15%.

3.12 Effetti dell'incendio sull'uomo

Si è soliti pensare che la causa principale di morti in caso di incendio sia la rapida esposizione al calore. In realtà, come dimostrano le statistiche, solo l'8% dei casi di decesso è dovuto alla rapida esposizione al calore. I principali effetti dell'incendio sul corpo umano sono:

- ustioni di vario grado;

USTIONI DI 1° GRADO superficiali (pelle arrossata e dolente) guaribili facilmente e spontaneamente
USTIONI DI 2° GRADO formazione bolle e vescicole, lesioni del derma necessità di ricorrere a cure mediche
USTIONI DI 3° GRADO profonde (oltre il derma), urgente ospedalizzazione distruzione fino a carbonizzazione dei tessuti, in generale richiedono l'innesco di tessuti sani

Figura 3. 13 – Ustioni

- ipertermia: aumento della temperatura corporea oltre i limiti fisiologici ($> 37^{\circ}$ all'ascella);
- arresto della respirazione per collasso dei capillari sanguigni, dovuto all'aria molto calda;
- carenza di ossigeno nell'area circostante al rogo (anossia);
- intossicazione da sostanze nocive presenti nei fumi;
- ferite e fratture per riduzione della visibilità, cadute e/o crolli, etc.

3.13 Effetti dell'incendio sui materiali

I materiali utilizzati comunemente nelle costruzioni quando si trovano esposti al calore prodotto da un incendio subiscono delle forti sollecitazioni termiche che, in alcuni casi, possono comprometterne la resistenza meccanica. Se, come spesso avviene, i costituenti principali hanno coefficienti di dilatazione termica differenti tra loro, possono avvenire fenomeni quali la frantumazione o lo sgretolamento a prescindere della resistenza meccanica del materiale stesso.

3.14 La normativa Antincendio

Per chi non conosce come è articolato il settore della sicurezza antincendio, il quadro normativo di riferimento non risulta facile. Al contrario, esso si compone di norme che abbracciano più di 40 anni e che sono contemporaneamente vigenti.

3.14.1 Norme sulle procedure

Il 22 settembre 2011 è stato pubblicato il *DPR 1 agosto 2011 n. 151*, “Regolamento recante semplificazione della disciplina dei procedimenti relativi alla prevenzione incendi”, il quale detta le procedure da seguire, individuando le attività soggette alla disciplina della prevenzione incendi ed operando una sostanziale semplificazione relativamente agli adempimenti da parte dei soggetti interessati.

Il regolamento si pone come obiettivi principali la semplificazione procedurale e il raccordo con i nuovi strumenti amministrativi quali la segnalazione certificata di inizio attività (SCIA) e lo sportello unico per le attività produttive (SUAP).

La norma, in sostanza, prevede che le attività soggette ai controlli di prevenzione incendi seguano procedure diverse a seconda della loro categoria:

- categoria A (attività dotate di “regola tecnica” di riferimento e contraddistinte da un limitato livello di complessità, legato alla consistenza dell’attività, all’affollamento ed ai quantitativi di materiale presente): solo presentazione SCIA;
- categoria B (attività presenti in A, quanto a tipologia, ma caratterizzate da un maggiore livello di complessità, nonché le attività sprovviste di

una specifica regolamentazione tecnica di riferimento, ma comunque con un livello di complessità inferiore al parametro assunto per la categoria “superiore”): esame del progetto e presentazione SCIA;

- categoria C (attività con alto livello di complessità, indipendentemente dalla presenza o meno della “regola tecnica”): esame del progetto e richiesta del CPI⁸.

Il regolamento, poi, permette la richiesta di deroga nel caso in cui non si possa rispettare in pieno una norma tecnica. Molti chiarimenti sono stati forniti con la *circolare del 6 ottobre 2011*.

3.14.2 Norme e regole tecniche

Per quanto riguarda le norme tecniche antincendio (dette anche “regole tecniche”), invece, l’evoluzione è continua e non esiste una norma che è sempre valida. Il progettista o il titolare deve controllare quale sia, per ogni attività o impianto, il riferimento vigente al momento della sua progettazione. Una ulteriore classificazione, non ufficiale ma ancora diffusa, è quella tra norme “orizzontali” e norme “verticali” di prevenzione incendi. Le prime sono quelle che si riferiscono a tutte le attività e gli edifici (ad esempio, le norme di resistenza al fuoco, i termini e le definizioni generali, etc.). Le norme “verticali”, invece, sono quelle che riguardano le singole attività pericolose (centrali termiche, depositi di gas, etc.).

A queste norme deve essere aggiunto il corpo normativo sulla sicurezza del lavoro, che fa capo al D.Lgs 81 del 2008 e che prevede che il datore di lavoro svolga degli adempimenti ulteriori rispetto a quelli stabiliti dalle norme antincendio. Anche questo decreto prevede degli obblighi per la sicurezza

⁸ Il discorso relativo al CPI verrà trattato nel paragrafo 3.15.

antincendio dei luoghi di lavoro⁹. L'elemento che lega la sicurezza del lavoro alla sicurezza antincendio è il *DM 10 marzo 1998: "Criteri generali di sicurezza antincendio e per la gestione dell'emergenza nei luoghi di lavoro"*, che spiega quali sono gli adempimenti antinfortunistici che sono rispettati quando tutte le norme ed i regolamenti antincendi sono stati seguiti.

Infine, è importante ricordare il *Decreto del Ministero dell'Interno del 9 maggio 2007*, il quale ha sancito l'introduzione del cosiddetto approccio prestazionale nel quadro legislativo riguardante la prevenzione incendi; il paragrafo 3.16 sarà dedicato allo sviluppo di tale concetto.

3.15 Il Certificato di Prevenzione Incendi

Il Certificato di Prevenzione Incendi (CPI) è un insieme di norme, applicazioni ed azioni che portano a rendere l'organismo edilizio e/o l'attività produttiva/commerciale/di deposito/etc. ragionevolmente sicuro rispetto ai rischi derivanti da incendio. La sicurezza è rivolta alla tutela delle persone, delle cose e dell'ambiente.

Tale certificato è l'atto finale del procedimento amministrativo di prevenzione incendi, ma il suo contenuto non è sempre chiaro a tutti.

Disporre di un certificato di prevenzione incendi non vuol dire che l'edificio non subirà mai un incendio, ma attesta che quell'edificio è stato realizzato secondo il livello di sicurezza richiesto dallo Stato. La sicurezza totale, infatti, non esiste in nessuna attività in nessuna parte del mondo ed il rispetto delle norme o dei criteri di sicurezza è l'unico modo che si ha per

⁹ Gli articoli rilevanti del D. Lgs. 81/08 ai fini della prevenzione incendi sono: Capo III Gestione della prevenzione nei luoghi di lavoro, Sezione I MISURE DI TUTELA E OBBLIGHI: Art. 15. Misure generali di tutela, Art. 18. Obblighi del datore di lavoro e del dirigente; Sezione IV FORMAZIONE, INFORMAZIONE E ADDESTRAMENTO: Art. 37. Formazione dei lavoratori e dei loro rappresentanti, Art. 46. Prevenzione incendi, Art. 64. Obblighi del datore di lavoro, Art. 225. Misure specifiche di protezione e di Prevenzione.



raggiungere l'equilibrio tra le esigenze di tutela della collettività e la possibilità di realizzazione dell'opera.

L'elenco delle attività soggette al Certificato di Prevenzione Incendi era contenuto nella tabella del *Decreto Ministeriale 16 febbraio 1982* (Gazzetta Ufficiale 9 aprile, n.98) recante *Modificazioni del decreto ministeriale 27 settembre 1965, concernente la determinazione delle attività soggette alle visite di prevenzione incendi*. Tale decreto riportava un elenco di 97 “attività” soggette alle visite di prevenzione incendi da parte dei Comandi Provinciali Vigili del Fuoco.

Il valore del certificato di prevenzione incendi è stato poi modificato profondamente dal *Dpr 151 del 2011* rispetto alla sua definizione iniziale. Anche i documenti necessari per ottenere il cpi sono stati aggiornati con il *D.M. 7 agosto 2011*, decreto che tiene conto dell'introduzione della SCIA antincendio.

3.16 Fire Safety Engineering

3.16.1 Introduzione

Negli ultimi 20 anni [50] si è assistito ad un notevolissimo sviluppo nella comprensione dei fondamenti scientifici di come il fuoco (e le persone coinvolte) si comportano. Ciò ha comportato il passaggio da una comprensione dell'incendio Storico - Empirica a Predittiva. Questa nuova visione è stata introdotta dal *D. M. 9 maggio 2007*, il quale – come accennato in precedenza – ha sancito l'introduzione *dell'approccio prestazionale* alla sicurezza antincendio. Tale metodo va ad affiancarsi al più tradizionale metodo prescrittivo basato sull'applicazione di regole tecniche cui spetta il

compito di fissare, per i vari possibili scenari, le misure di protezione da adottare per garantire la sicurezza antincendio.

Nel nuovo approccio ingegneristico confluiscono diverse esigenze: da un lato, quella del legislatore di continuare a tutelare la sicurezza di persone e cose, dall'altro, la richiesta, da parte dei progettisti, di maggiore flessibilità in determinate situazioni per le quali le norme tecniche che disciplinano la prevenzione incendi risultano di fatto inapplicabili a causa dei vincoli imposti. L'approccio ingegneristico si esplicita nella previsione della successione temporale delle varie fasi di evoluzione di un incendio per calcolare il livello di esposizione di persone e cose a calore e sostanze tossiche per valutare l'azione meccanica delle fiamme sulle strutture esposte al fuoco. I valori ottenuti da tale fase andranno poi confrontati con il livello di prestazioni minimo richiesto alla costruzione in esame.

3.16.2 La valutazione degli effetti dell'incendio secondo l'approccio ingegneristico

Con l'emanazione della direttiva 89/106/CEE [50] concernente i prodotti da costruzione e la successiva pubblicazione del documento interpretativo del *Requisito n. 2 - Sicurezza in caso d'incendio*, si è avviato anche in Europa il processo di sviluppo delle tematiche inerenti la *Fire Safety Engineering* (ingegneria della sicurezza antincendio). Si è iniziato ad affermare, in altre parole, il concetto di approccio ingegneristico alla sicurezza antincendio quale metodo paritetico e alternativo all'approccio di tipo tradizionale basato sull'applicazione di regole tecniche che stabiliscono a priori, in maniera deterministica e vincolante, le misure di protezione da adottare. La metodologia prestazionale secondo la norma ISO/TR13387 consiste nell'applicare - a partire da una valutazione prettamente scientifica

dell'incendio e dei suoi effetti così come dell'agire umano - norme e principi di stampo ingegneristico finalizzati a salvaguardare le persone e i beni, a valutare da un punto di vista quantitativo i rischi d'incendio e dei relativi effetti e a definire analiticamente misure protettive, al fine di ridurre, entro certi livelli stabiliti, le conseguenze che un incendio può comportare. Come si è accennato nell'introduzione, il decreto del Ministero dell'Interno del 9 maggio 2007 rappresenta l'atto amministrativo con cui l'approccio prestazionale è stato ufficialmente inserito nell'ordinamento nazionale nell'ambito dei procedimenti di prevenzione incendio. In base ad esso, il professionista, in accordo con il committente, può scegliere liberamente di adottare la metodologia prestazionale per attività non espressamente regolate da specifiche disposizioni antincendio, come pure nel corso dei procedimenti di deroga, allo scopo di individuare misure di sicurezza equivalenti.

L'approccio ingegneristico alla sicurezza antincendio può essere organizzato nella seguente successione di fasi:

- ✓ analisi preliminare;
- ✓ analisi quantitativa;
- ✓ redazione del programma di gestione della sicurezza antincendio (SGSA).

3.16.3 Analisi preliminare (I fase)

L'analisi preliminare [50] può essere riassunta nei punti che seguono. Dovranno essere innanzitutto prese in considerazione le caratteristiche del progetto. L'individuazione dei dati caratteristici progettuali deve infatti tenere conto degli aspetti legati a:

- vincoli imposti da prescrizioni normative e da esigenze peculiari dell'attività;
- pericoli d'incendio connessi alla destinazione d'uso prevista per gli edifici e i locali;
- fattori ambientali specifici collegabili alle conseguenze dello sviluppo dell'incendio;
- caratteri e comportamenti delle persone presenti in relazione alla tipologia di edificio prescelta e alla destinazione d'uso prevista.

Il passo successivo riguarda la definizione degli obiettivi di sicurezza.

L'identificazione di tali obiettivi va eseguita in conformità alle disposizioni in materia di prevenzione incendi e in relazione alle specifiche esigenze dell'attività in esame.

Tali esigenze possono comprendere i punti che seguono:

- le persone presenti devono essere in grado di lasciare l'opera o di essere soccorse altrimenti;
- deve essere presa in considerazione la sicurezza delle squadre di soccorso;
- la capacità portante dell'edificio deve essere garantita per un periodo di tempo prefissato in relazione all'evoluzione dell'incendio;
- la produzione e la propagazione del fuoco e del fumo all'interno delle opere deve essere limitata;
- la propagazione del fuoco alle opere vicine deve essere limitata.

In relazione agli obiettivi di sicurezza individuati, si devono poi indicare i parametri significativi presi a riferimento per garantire il soddisfacimento degli obiettivi stessi. Tali parametri generalmente includono le temperature massime dei gas in ambiente, i livelli di visibilità, i livelli di radiazione termica, i livelli di concentrazione delle specie tossiche, i livelli minimi di ossigeno. Tale fase riguarda quindi la definizione dei cosiddetti livelli di

prestazione. Tutti i parametri utilizzati per rappresentare i livelli di prestazione devono essere opportunamente quantificati per mezzo di valori numerici, generalmente desunti dalla normativa tecnica internazionale o da specifiche disposizioni legislative.

Al riguardo, si citano i seguenti riferimenti::

- ✓ BS 7974 (*Application of Fire Safety Engineering to the Building Design*);
- ✓ ISO/TR 13387 (*Fire Safety Engineering*);
- ✓ Decreto Ministero dei Lavori Pubblici del 9 maggio 2001 (*Requisiti minimi di sicurezza per aree interessate da stabilimenti a rischio di incidente rilevante*).

Tabella 3. 8 – Valori di soglia raccomandati per visibilità, concentrazione dei prodotti di combustione e temperatura (Ferrari et al. 2003)

Parametro	Soglia di accettabilità
Temperatura ambiente	50°C
Livello di visibilità	9 m
Concentrazione di ossigeno	15 (%)
Anidride carbonica	0.5 (%)
Monossido di carbonio	80 ppm

L'individuazione di uno scenario di incendio si traduce nella schematizzazione degli eventi che possono ragionevolmente verificarsi in relazione alle caratteristiche individuate dell'incendio, dell'edificio e delle persone presenti. Il processo di selezione degli scenari d'incendio di progetto deve individuare, tra tutte le condizioni realisticamente ipotizzabili, le più gravose per lo sviluppo e la propagazione delle fiamme, la conseguente sollecitazione strutturale, la tutela delle persone presenti e la sicurezza delle squadre di soccorso. Il termine *scenario* indica pertanto l'insieme di condizioni con riferimento alle quali si intende effettuare la simulazione.

Ogni scenario deve comprendere almeno le tre componenti che seguono:

- caratteristiche del fuoco: stato, tipo e quantitativo delle sostanze combustibili, loro disposizione e configurazione, profilo temporale del rilascio termico e picco di potenza termica sviluppata (HRR_{max} dove HRR sta per *Heat Release Rate*). In rapporto alla velocità di sviluppo, è possibile, ad esempio, caratterizzare diversi modelli di incendio (detti rispettivamente a crescita lenta, media o veloce), prendendo a base della caratterizzazione il tempo necessario a raggiungere un rilascio termico pari a 1000 kW:
 - ✓ incendio a crescita lenta: 1000 kW in 600 s;
 - ✓ incendio a crescita media: 1000 kW in 300 s;
 - ✓ incendio a crescita rapida: 1000 kW in 150 s;
 - ✓ incendio a crescita ultrarapida: 1000 kW in 75 s.
- caratteristiche dell'edificio: geometria dei locali, composizione e proprietà termiche delle pareti, degli arredi e delle tappezzerie, strutture edilizie, condizioni di ventilazione interna ed esterna, stato di apertura o chiusura di porte e finestre;
- caratteristiche delle persone presenti: affollamento massimo, stato psico-fisico, presenza di disabili, familiarità con i luoghi, stato di veglia o sonno, etc.

L'individuazione di uno scenario di incendio è il risultato del giudizio esperto formulato congiuntamente da progettista e autorità in merito alla ragionevolezza e alla realistica delle ipotesi assunte. Entrambe le condizioni risultano necessarie per restringere il numero di casi di studio dall'infinità di scenari ipotizzabili in riferimento a un edificio a quelli che effettivamente rappresentano le situazioni più pericolose per il fabbricato e i suoi occupanti in termini di possibili condizioni di innesco e di propagazione delle fiamme.

I possibili scenari individuati si aggiungono agli otto scenari descritti dalle norme NFPA 101 - *Life Safety Code* e NFPA 5000 - *Building Construction and Safety Code*, nei quali trovano collocazione, con possibilità di integrazione da parte del progettista, i vari problemi inerenti le vie d'esodo, la presenza di persone, la propagazione dell'incendio agli edifici adiacenti, le caratteristiche dei materiali combustibili e le misure di protezione attiva e passiva.

Tali scenari predefiniti sono i seguenti:

- *scenario n. 1*: scenario tipico che considera le attività, il numero e la localizzazione degli occupanti, le dimensioni degli ambienti, la natura e l'entità degli arredi e degli altri elementi presenti, le proprietà dei materiali combustibili e delle possibili sorgenti di ignizione, le condizioni di ventilazione con specifica definizione del primo elemento che prende fuoco e la sua localizzazione;
- *scenario n. 2*: scenario che considera un incendio a sviluppo ultraveloce, ubicato in corrispondenza delle vie primarie di uscita con le porte interne aperte all'inizio dell'incendio;
- *scenario n. 3*: scenario con incendio che ha inizio in un ambiente normalmente non occupato e che potenzialmente può mettere in pericolo un grande numero di persone in un ampio ambiente limitrofo o in un'altra area dell'edificio;
- *scenario n. 4*: scenario con fuoco che ha origine a parete o a soffitto in posizione adiacente ad un ambiente con alta presenza di persone;
- *scenario n. 5*: scenario con fuoco che si sviluppa lentamente in posizione non coperta dai sistemi di protezione e in prossimità di una zona con rilevante presenza di persone;
- *scenario n. 6*: rappresenta lo scenario d'incendio più grave, derivante da un carico d'incendio più elevato di quello caratteristico del normale uso dell'edificio, a sviluppo rapido e con presenza di persone;

- *scenario n. 7*: scenario con incendio che si sviluppa al di fuori della zona d'interesse (incendio esterno) e che risulta suscettibile d'estendersi a quest'ultima, di bloccare le uscite o di determinare condizioni interne non sostenibili;
- *scenario n. 8*: scenario d'incendio con fuoco avente origine in un ambiente o area dell'edificio d'interesse dato il malfunzionamento e/o la non presenza delle misure di protezione attive o passive in quanto messe fuori uso o disattivate singolarmente in sequenza.

3.16.4 Analisi quantitativa (II fase)

Andranno individuate [50] le soluzioni impiantistiche più adatte per coniugare le caratteristiche della tipologia edilizia oggetto del progetto agli obiettivi di sicurezza propri dei livelli di prestazione stabiliti.

La scelta tra le varie soluzioni progettuali verrà condotta per mezzo di un'analisi quantitativa che culminerà con il giudizio in merito all'accettabilità dell'ipotesi considerata.

L'applicazione di un modello di calcolo fornirà una serie di parametri numerici utili alla descrizione dell'evoluzione dell'incendio e le indicazioni necessarie per verificare il soddisfacimento dei livelli di prestazione prefissati. In questa fase, si procederà ad un'ottimizzazione delle scelte progettuali effettuate, scartando quelle che risultino poco soddisfacenti e affinando quelle che siano risultate più valide sotto il profilo della sicurezza.

3.16.4.1 Modelli di calcolo dedicati alla simulazione di un incendio

Un aspetto cruciale [50] legato all'analisi quantitativa riguarda la scelta dei modelli di calcolo per la previsione della sequenza temporale delle varie fasi



in cui si articola l'evoluzione dell'incendio ipotizzato, date le contromisure, di tipo attivo e passivo, previste. I modelli di simulazione permettono di comprendere il livello di rischio attuale e di predisporre diverse modalità di gestione del livello di pericolo presente.

La scelta del modello di calcolo dipenderà dalla complessità del progetto da analizzare e dal livello di conoscenze tecniche acquisite.

La traduzione in termini matematici dell'evoluzione di un incendio per mezzo della scrittura di un sistema di equazioni costituisce il modello alla base di un codice di calcolo. Tale codice avrà quindi come compito il calcolo automatico dell'evoluzione e della successione degli eventi, data una serie di informazioni fornite dall'utente.

Vanno dapprima definite estensione e geometria della regione di interesse, cioè della porzione di spazio che andrà a costituire il dominio di calcolo. Devono quindi essere stabilite le caratteristiche termo-fisiche e chimiche dei materiali che faranno parte del dominio individuato.

Vi è poi la fase di discretizzazione: l'intero volume prescelto sarà suddiviso in elementi più piccoli, celle o sotto volumi, in corrispondenza dei quali sarà impostata la soluzione matematica delle equazioni che descrivono il problema oggetto di indagine. In base a come venga realizzata quest'ultima fase, è possibile operare una classificazione dei codici di calcolo dedicati alla prevenzione incendi rispettivamente in due categorie:

- ✓ modelli a zona;
- ✓ modelli a campo.

I modelli di simulazione a zone prevedono la suddivisione del locale sede dell'incendio in due macro volumi di controllo. Uno superiore contenente i prodotti della combustione; il secondo, più basso, rappresentante invece l'aria a condizioni ambiente. Ad una determinata altezza dal pavimento sarà

presente un'interfaccia con una variazione a gradino della temperatura dell'aria in corrispondenza ad essa. All'interno di ciascuno dei due volumi descritti, questo tipo di modelli assume infatti l'uniformità nello spazio delle grandezze di interesse (ad esempio, temperatura e concentrazione di specie tossiche) previste durante le fasi di evoluzione dell'incendio.

I modelli fluidodinamici (CFD) prevedono la rappresentazione degli ambienti oggetto di indagine mediante la costituzione di un dominio di calcolo suddiviso in un gran numero di celle e la soluzione per via numerica delle leggi di conservazione della massa, della quantità di moto e dell'energia, in corrispondenza a ciascun volume di controllo. La peculiarità di questo tipo di modelli sta nella capacità di fornire combinatamente la variazione nel tempo e nello spazio delle grandezze di interesse.

3.16.5 Programma di gestione della sicurezza antincendio (SGSA)

L'adozione della metodologia prestazionale [50] è connessa all'obbligo di elaborare un documento contenente il programma per l'attuazione del *Sistema di Gestione della Sicurezza Antincendio* (denominato SGSA). Tale documento risulta necessario per tenere sotto controllo tutti i parametri che hanno portato all'individuazione degli scenari di incendio, dato che questi rappresentano vincoli e limitazioni imprescindibili per l'esercizio dell'attività.

L'elaborazione di tale documento rappresenta un elemento di assoluta novità rispetto agli obblighi di gestione precedentemente stabiliti e diventa uno degli adempimenti fondamentali a cui vengono ad essere assoggettate le attività trattate con l'approccio ingegneristico.

Nel documento devono essere comprese tutte le ipotesi assunte relativamente a:

- organizzazione del personale;
- identificazione e stima dei pericoli derivanti dalle attività svolte;
- controllo operativo;
- gestione delle modifiche;
- pianificazione delle emergenze;
- controllo delle prestazioni.

È previsto che, qualora l'esito degli accertamenti periodici condotti dall'autorità preposta (CNVVF) rilevi che non sono stati rispettati e mantenuti gli impegni assunti, si debba procedere alla sospensione del certificato di prevenzione incendi (CPI).

La motivazione di tale disposizione si desume dal fatto che la metodologia prestazionale, basandosi sull'individuazione di misure di protezione effettuata con riferimento a specifiche condizioni, necessita di un attento mantenimento dei parametri sia degli scenari che dei progetti affinché non si verifichi una riduzione nel tempo del livello di sicurezza.

3.16.6 Sviluppo progettuale e documentazione finale

Lo sviluppo progettuale [50] deve essere condotto in modo da ottenere risultati finali (capacità di prestazione) che, confrontati e verificati in base ai requisiti iniziali (richieste di prestazione), soddisfino i livelli di prestazione attesi (grado di sicurezza).

L'eventuale scelta da parte di committente e professionista di ricorrere all'approccio ingegneristico per l'approvazione di un progetto o delle misure

compensative in una domanda di deroga comporta l'obbligo aggiuntivo di presentare una documentazione integrativa rispetto a quella prevista dal decreto del Presidente della Repubblica 37/98 (e dal suo Decreto attuativo del Ministero dell'Interno del 4 maggio 1998), il cui contenuto si può riassumere in quanto segue:

- Sommario tecnico: deve contenere il percorso logico seguito per l'individuazione di:
 - scenario d'incendio di progetto;
 - obiettivi di sicurezza e livelli di prestazione;
- Relazione tecnica: deve esprimere in forma esaustiva ed efficace le modalità di calcolo adottate per descrivere il comportamento del sistema in merito al tipo di analisi condotta. Dovrà quindi contenere: modello di simulazione o algoritmo di calcolo; assunzioni, dati d'ingresso, risultati, valutazioni;
- Elaborati grafici (disegni, schemi grafici e immagini);
- Piano di gestione della sicurezza antincendio (SGSA).

3.16.7 La novità dell'approccio prestazionale

Si ritiene opportuno [50] concludere questa trattazione relativa all'approccio ingegneristico nella progettazione della sicurezza antincendio riportando quanto espresso in proposito dall'ing. G. Giomi, vicedirettore centrale per la prevenzione e sicurezza tecnica del Corpo Nazionale dei Vigili del fuoco (CNVVF): “Lo strumento prestazionale è certamente una novità e come tutte le novità induce e genera pareri contrastanti: gli estimatori ritengono che sia l'unico modo per risolvere situazioni altrimenti irrisolvibili; gli scettici, al contrario, pensano che questa metodologia possa comportare incertezza,

determinare contenzioso e far perdere di credibilità alle regole tecniche in vigore. I detrattori addirittura si spingono ad ipotizzare che l'approccio prestazionale potrà diventare facilmente lo strumento per eludere elegantemente le normative in vigore individuando percorsi per così dire a minor resistenza, con il pericolo di ridurre drasticamente il livello di sicurezza. Ritengo che più che condividere o rigettare tali considerazioni si debba ragionare in modo pragmatico, scevri da preconcetti e condizionamenti. Il processo di valutazione prestazionale è una disciplina riconosciuta a livello internazionale che sempre più andrà affermandosi nell'attività di progettazione”.

3.17 Valutazione e gestione del rischio incendio

Nella valutazione dei rischi d'incendio il datore di lavoro, anche tramite il Servizio Prevenzione e Protezione provvede ad effettuare l'analisi dei luoghi di lavoro, tenendo conto:

- del tipo di attività;
- delle sostanze e dei materiali utilizzati e/o depositati;
- delle caratteristiche costruttive, dimensionali e distributive dei luoghi di lavoro (strutture, aree di piano, superfici totali, coperture etc.);
- del numero massimo ipotizzabile delle persone che possono essere presenti contemporaneamente nei luoghi di lavoro.

Tutto questo con l'obiettivo di:

- determinare i fattori di pericolo d'incendio;
- identificare le persone esposte al rischio d'incendio;

- valutare l'entità dei rischi accertati;
- individuare le misure di prevenzione e protezione;
- programmare le misure antincendio, ritenute più opportune.

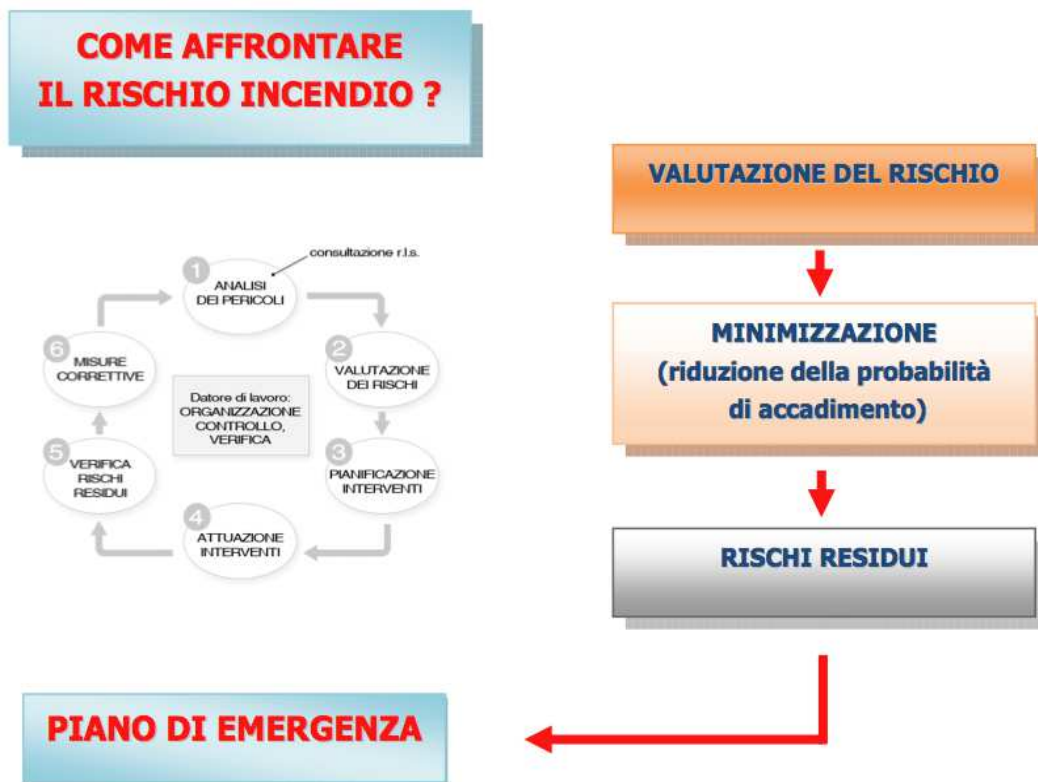


Figura 3. 14 - Gestione del rischio incendio

3.17.1 La determinazione dei fattori di pericolo d'incendio

In questa fase è necessario identificare i fattori di pericolo, come materiali, sostanze, macchine, organizzazione del lavoro, carenze di manutenzione etc., che possono causare un pericolo.

Tali fattori possono essere suddivisi secondo le seguenti tre tipologie:

1. *Materiali e sostanze combustibili o infiammabili* come:

- grandi quantitativi di materiali cartacei;



- materie plastiche e derivati dalla lavorazione del petroli;
- liquidi e vapori infiammabili;
- gas infiammabili;
- polveri infiammabili;
- sostanze esplodenti;
- prodotti chimici infiammabili in combinazione con altre sostanze che possono essere presenti etc.

2. *Sorgenti d'innescio* come:

- fiamme libere;
- scintille;
- archi elettrici;
- superfici a temperatura elevata;
- cariche elettrostatiche;
- campi elettromagnetici;
- macchine, impianti ed attrezzature obsolete o difformi dalle norme di buona tecnica etc.

3. *Fattori trasversali* come:

- territorio ad alta sismicità;
- vicinanza con altre attività ad alto rischio d'incendio;
- metodologie di lavoro non corrette;
- carenze di manutenzione di macchine ed impianti etc.

3.17.2 L'identificazione delle persone esposte al rischio di incendio

Occorre identificare le persone che possono essere esposte al rischio d'incendio, tenendo conto dell'affollamento massimo prevedibile, delle



condizioni psicofisiche dei presenti e valutando se all'interno delle aree di lavoro, può esserci presenza di:

- pubblico occasionale;
- persone che non hanno familiarità con i luoghi di lavoro in genere e con le vie e le uscite di emergenza in particolare (come ad esempio i lavoratori appartenenti alle imprese di pulizia, di manutenzione, mensa etc.);
- persone con mobilità, vista o udito menomato o limitato;
- persone incapaci di reagire prontamente in caso di emergenza;
- lavoratori la cui attività viene svolta in aree a rischi specifico d'incendio;
- lavoratori i cui posti di lavoro risultano ubicati in locali (o aree) isolati dal resto dei luoghi di lavoro etc.

3.17.3 La valutazione dell'entità dei rischi

Occorre poi valutare e stimare l'entità di ciascun rischio d'incendio accertato:

- utilizzando tutti i sistemi, le metodologie e gli strumenti di cui si dispone come: disposizioni, regolamenti, norme di buona tecnica nazionali o internazionali, esperienze nello specifico settore etc.;
- tenendo conto che le probabilità che si verifichino le condizioni d'innescio di un incendio, risultano tanto maggiori quando si è in presenza di: scadente organizzazione del lavoro, sfavorevoli condizioni dei luoghi di lavoro, degli impianti e delle macchine, carente stato psico-fisico dei lavoratori etc.;
- stabilendo quali saranno le priorità d'intervento sui rischi rilevati, al fine di eliminarli ovvero ridurli, basandosi, ad esempio, sulla gravità delle conseguenze, sulla probabilità dell'accadimento dell'evento, sul

numero di persone che possono essere coinvolte dagli effetti del sinistro.

In base alla valutazione dei rischi effettuata è possibile classificare il livello del rischio d'incendio di un determinato luogo di lavoro in una delle seguenti categorie: basso, medio o elevato.

1. Luoghi di lavoro a rischio incendio basso

S'intendono a rischio d'incendio basso i luoghi di lavoro, o parte di essi, in cui sono presenti sostanze a basso tasso d'infiammabilità e le condizioni locali e di esercizio offrono scarse possibilità di sviluppo di principio d'incendio ed in cui, in caso d'incendio, la probabilità di propagazione dello stesso è da ritenersi limitata.

Si considerano luoghi a rischio d'incendio basso, quei luoghi non classificabili a rischio medio o elevato, dove, in genere, risultano presenti materiali infiammabili in quantità limitata o sostanze scarsamente infiammabili e dove le condizioni di esercizio offrono limitate possibilità di sviluppo di un incendio e di un'eventuale propagazione.

2. Luoghi di lavoro a rischio d'incendio medio

Si intendono a rischio d'incendio medio i luoghi di lavoro, o parte di essi, in cui sono presenti sostanze infiammabili e/o condizioni locali e/o di esercizio che possono favorire lo sviluppo di incendi, ma nei quali, in caso d'incendio, la probabilità di propagazione dello stesso è da ritenersi limitata.

3. Luoghi di lavoro a rischio d'incendio elevato

Si intendono a rischio d'incendio elevato i luoghi di lavoro, o parte di essi, in cui: per presenza di sostanze altamente infiammabili e/o condizioni locali e/o di esercizio sussistono notevoli probabilità di sviluppo di incendi e nella fase iniziale sussistono forti probabilità di propagazione delle fiamme.

Si considerano luoghi a rischio d'incendio elevato i luoghi in cui sono utilizzati prodotti infiammabili, ovvero ove risultano depositate o manipolate sostanze e materiali altamente infiammabili in grandi quantità.

3.17.4 La prevenzione e la protezione incendi

Le azioni da intraprendere per controllare e gestire un rischio incendio sono sia di tipo preventivo che protettivo. Tali azioni non sono tra loro alternative ma complementari nel senso che, concorrendo al medesimo fine, devono essere intraprese entrambe al fine di ottenere i migliori risultati.

La **prevenzione** può essere considerata come un complesso di misure organizzative, gestionali, conoscitive e di vigilanza che permettono di limitare la probabilità che l'evento indesiderato si verifichi. Le principali misure di prevenzione incendi sono:

- *Realizzazione di impianti elettrici a regola d'arte* (Norme CEI): gli incendi dovuti a cause elettriche ammontano a circa il 30% della totalità di questi sinistri. Appare evidente quindi l'importanza della realizzazione di impianti elettrici a regola d'arte con lo scopo di ridurre drasticamente le probabilità d'incendio evitando che l'impianto elettrico diventi una fonte di innesco;
- *Collegamento elettrico a terra* di impianti, strutture, serbatoi etc.: la messa a terra impedisce che sulle varie strutture e/o apparecchiature possa verificarsi l'accumulo di cariche elettrostatiche. La mancata dissipazione di tali cariche potrebbe causare il verificarsi di scariche elettriche le quali potrebbero fare da innesco ad eventuali incendi;
- *Installazione di impianti parafulmine*: le scariche atmosferiche costituiscono una delle principali cause d'incendio. Risulta pertanto necessario, specialmente in quelle zone dove l'attività è intensa, realizzare impianti di protezione contro tale fenomeno. Tali impianti creano una via

- preferenziale per la scarica del fulmine a terra evitando che vengano colpiti edifici o strutture;
- *Utilizzo di dispositivi di sicurezza per gli impianti di distribuzione e di utilizzazione delle sostanze infiammabili;*
 - *Ventilazione dei locali:* una corretta ventilazione dei locali, soprattutto in quelli in cui sono presenti gas o vapori infiammabili, evita che in tali ambienti si possano raggiungere concentrazioni al di sopra del limite inferiore del campo d'infiammabilità;
 - *Utilizzazione di materiali incombustibili:* se in alcuni è possibile scegliere tra l'uso di materiali diversi bisognerà ovviamente preferire quelli che presentino caratteristiche di incombustibilità a parità di funzionalità nel processo produttivo;
 - *Adozione di pavimenti ed attrezzi antiscintilla;*
 - *Segnaletica di sicurezza* riferita in particolare ai rischi presenti in ambiente di lavoro.

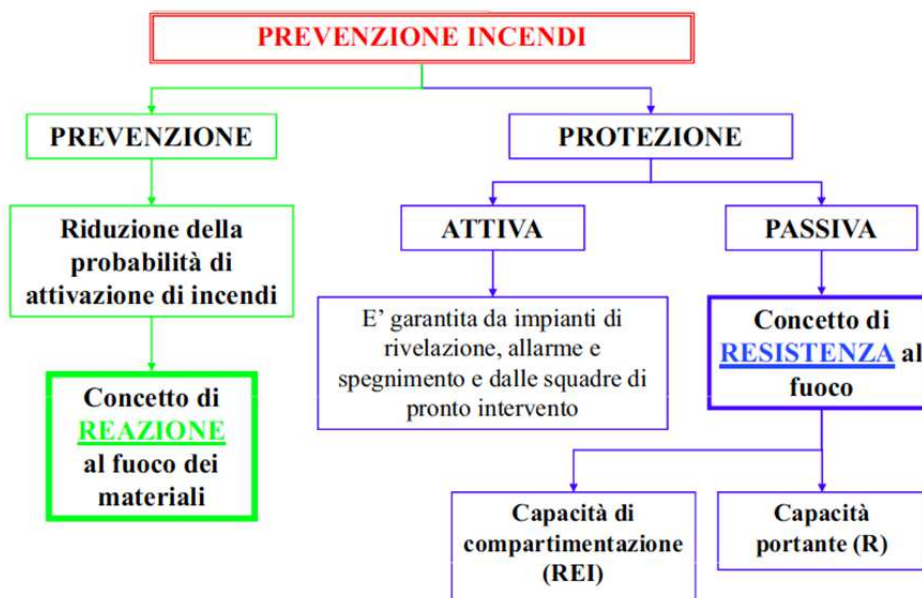


Figura 3. 15 - Prevenzione incendi

La **protezione** antincendio comprende tutte le misure da attuare al fine di limitare i danni alle persone ed alle cose derivanti dallo sviluppo di un incendio. In particolare le misure di tipo protettivo possono essere di tipo passivo o attivo a seconda che richiedano o meno un intervento di un operatore o di un impianto per essere attivate.

La **protezione passiva** riguarda: la resistenza al fuoco delle strutture, le compartimentazioni e le distanze di sicurezza antincendi:

➤ *La resistenza al fuoco* è una delle fondamentali strategie di protezione da perseguire per garantire un adeguato livello di sicurezza della costruzione in condizioni d'incendio. È definita come “l’attitudine di un elemento costruttivo - sia esso componente o struttura - a conservare, secondo un programma termico prestabilito e per un certo tempo, la stabilità (indicata con il simbolo R), la tenuta (indicata con il simbolo E) e l’isolamento termico (indicato con il simbolo I)”. Analizzando questa definizione più in dettaglio si ha che:

- La *stabilità* è l’attitudine di un elemento di costruzione a conservare la resistenza meccanica sotto l’azione del fuoco;
- La *tenuta* è l’attitudine di un elemento da costruzione a non lasciar passare né produrre, se sottoposto all’azione del fuoco su un lato, fiamme, vapori o gas caldi sul lato non esposto;
- L’*isolamento termico* è l’attitudine di un elemento da costruzione a ridurre, entro un dato limite, la trasmissione del calore.

Pertanto con il simbolo *R* si identifica un elemento costruttivo che conserva la stabilità per un determinato lasso di tempo, con il simbolo *RE* si identifica un elemento costruttivo che conserva per un tempo determinato la stabilità e la tenuta e con *REI* un elemento costruttivo che deve conservare, per un tempo determinato, la stabilità, la tenuta, e l’isolamento termico.

La definizione di classe di resistenza al fuoco va interpretata in funzione dell'elemento costruttivo che s'intende analizzare. Per esempio, nel caso di un pilastro in calcestruzzo, i termini E ed I perdono di significato in quanto risulta decisivo il solo valore R (cioè l'attitudine a conservare la capacità portante). Le classi di resistenza al fuoco previste dal DM 16 febbraio 2007 sono le seguenti: 15, 20, 30, 45, 60, 90, 120, 180, 240, 360. Il numero indicativo di ogni classe esprime il carico di incendio espresso in kg/m^2 di legna standard e corrisponde alla durata minima di resistenza al fuoco, misurata in minuti, da richiedere alla struttura o all'elemento costruttivo in esame.

La classe è valutabile con opportune relazioni in cui compare sia il carico di incendio calcolato sia dei coefficienti (tabellati e graficati) che tengono conto delle condizioni reali di incendio. In pratica, si ha:

$$C = K * q \quad (3.1)$$

Dove:

C = classe dell'edificio;

q = carico d'incendio;

K = coefficiente di riduzione.

Il carico di incendio, che in sostanza rappresenta il massimo calore che può sviluppare la combustione di tutti i materiali presenti in un locale, si ottiene dividendo il potenziale termico per unità di superficie che i materiali combustibili presenti nel locale sono in grado di sviluppare per il potere calorifico inferiore del legno. Più nello specifico, per la determinazione del **carico di incendio** risulta necessario:

- ✓ individuare tutti gli elementi combustibili esistenti nel comparto o ambiente in esame e determinazione dei loro pesi;
- ✓ calcolare il potere calorifico che compete a tutti gli anzidetti elementi e materiali (ottenibile moltiplicando il loro peso per il potere calorifico della sostanza con la quale sono stati realizzati, espresso in kcal);

- ✓ dividere la somma di tutti i valori così ottenuti sia per 4.400 (potere calorifico del legno standard), sia per la superficie dell'ambiente o comparto considerato, espressa in m².

La relazione che sintetizza le anzidette operazioni è la seguente:

$$q = \frac{\sum_{i=1}^n g_i \cdot H_i}{4.400 \cdot A} \quad (3.2)$$

nella quale:

q = carico di incendio in kg di legno/m²;

g_i = peso in kg del generico combustibile i ;

H_i = potere calorifico superiore del generico combustibile in kcal/kg.

A = superficie, espressa in m², del locale o comparto del quale si valuta il carico di incendio.

➤ *Le compartimentazioni* (solai, pareti divisorie e porte) sono elementi costruttivi aventi caratteristiche di resistenza al fuoco predeterminate che vengono realizzate (o installate) in funzione delle diverse esigenze di prevenzione incendi e che permettono:

- Il contenimento della propagazione dell'incendio (ovvero ne ritardano la diffusione) in un'area circoscritta, fornendo alle persone presenti la possibilità di raggiungere luoghi sicuri e aree a cielo aperto;
- Adeguata protezione alle vie di esodo, con particolare riferimento alle scale di emergenza (scale “protette”, “a prova di fumo”).

Le scale di emergenza si distinguono in:

- *scala protetta*: scala posta in un vano costituente il compartimento antincendio, avente accesso diretto da ogni piano con porte di resistenza REI, che siano dotate di congegno di auto-chiusura. Una scala protetta, per il tempo in cui si sviluppa l'incendio, è in grado di assolvere al proprio compito, cioè di impedire che sia presa dalle

fiamme e dai fumi presenti in una qualsiasi parte dell'edificio, solamente se tutte le porte REI di piano risulteranno chiuse. Ciò significa che le porte non vanno bloccate, al fine di facilitare l'esodo degli occupanti, perché, in tal caso, si vanificherebbe la funzione del dispositivo di auto-chiusura e si favorirebbe l'invasione dei fumi e delle fiamme, ostacolando o impedendo la fuga delle persone presenti ai piani sovrastanti al piano dove si è sviluppato l'incendio;

- *scala a prova di fumo interna*: s'intende una scala collocata in un vano costituente il compartimento antincendio, avente accesso da ogni piano a mezzo di porte di resistenza al fuoco REI dotate di congegno di auto-chiusura. È una scala accessibile da ogni piano a mezzo di un filtro a prova di fumo;
- *scala a prova di fumo esterna*: scala situata in un vano costituente il compartimento antincendio, al quale si possa accedere, ad ogni piano, mediante porte di resistenza al fuoco almeno RE e dotate di congegno di auto-chiusura. L'accesso deve avvenire attraverso uno spazio scoperto o un disimpegno aperto per almeno un lato su uno spazio scoperto e dotato di parapetto a giorno. Il vano scala deve essere, quindi, interamente realizzato con pareti e porte tagliafuoco;
- *scala esterna di sicurezza*: con cui s'intende una scala metallica, munita di parapetto esterno, che corre lungo una delle facciate dell'edificio e alla quale si ricorre solamente qualora non sia possibile adottare soluzioni diverse. È richiesta, per queste scale, l'adozione di una serie di accorgimenti, quali:
 - ✓ essere lontane da vani da cui si possono sprigionare fiamme;
 - ✓ essere munite di parapetto pieno di 1,20 m di altezza allo scopo di evitare la paura del vuoto;
 - ✓ essere appoggiate a muri di adeguata REI, privi di coperture o protetti con serramenti REI, comprese le porte;
 - ✓ essere antisdrucchiolevoli.

➤ *Le distanze di sicurezza antincendio.* Per distanza di sicurezza antincendio s'intende la distanza orizzontale tra una zona con potenziale rischio d'incendio ed un'altra zona. Tali distanze sono di notevole importanza per la predisposizione di un'opportuna prevenzione incendi, specialmente in aree ad elevato rischio d'incendio, in quanto impediscono, o riducono, la possibilità che un incendio, sviluppatosi in una zona di lavoro (struttura edilizia, macchinario o impianto) si estenda in aree confinanti ad essa.

Sono definite distanze di sicurezza antincendio:

- interne: tra locali distinti ma appartenenti alla medesima attività ed alla stessa struttura edilizia, tra edifici distinti ma appartenenti alla medesima attività;
- esterne: tra edifici appartenenti ad un'attività e altri edifici ove vengono svolte altre attività;
- di protezione: tra edifici appartenenti alla stessa attività e il confine perimetrale dell'attività.

La **protezione attiva** riguarda: le azioni che deve porre in essere il personale addetto alla gestione delle emergenze, le attrezzature di lotta agli incendi, sistemi ed impianti antincendio.

➤ *Le azioni del personale addetto alla gestione delle emergenze:* Per personale addetto alla gestione dell'emergenza in genere e all'incendio in particolare, s'intendono quei lavoratori che, designati dal datore di lavoro, risultano adeguatamente formati tramite corsi teorico-pratici, e che sono quindi in grado di far fronte al verificarsi di un'emergenza nei luoghi di lavoro. Tali corsi di formazione, devono, ovviamente, essere correlati alla tipologia dell'attività ed al livello di rischio dell'azienda.

➤ *Le attrezzature di lotta agli incendi.* Le attrezzature di lotta agli incendi più diffusi nei luoghi di lavoro sono: a) estintori; b) idranti; c) attacchi di

mandata per autopompa; d) altre attrezzature.

a) *Gli estintori*. Gli estintori sono dei mezzi mobili di estinzione incendi da utilizzare su di un principio d'incendio. Questi sono costituiti da un recipiente metallico di forma cilindrica di colore rosso, contenente un agente estinguente che viene indirizzato verso le fiamme, sotto l'azione di una pressione interna. Tale pressione può essere fornita da una compressione preliminare permanente, da una reazione chimica ovvero dalla liberazione di un gas ausiliario (generalmente azoto, anidride carbonica o aria). Si dividono in relazione alla massa complessiva in due categorie:

- Estintori portatili: concepiti per essere trasportati ed utilizzati a mano da una sola persona, con massa non superiore a 20 Kg;
- Estintori carrellati: concepiti per essere trasportati e utilizzati su ruote generalmente da due persone, con massa compresa tra 20 Kg e 150 Kg.

Gli estintori possono essere: a polvere, ad anidride carbonica, ad idrocarburi alogenati, ad acqua, a schiuma.

b) *Gli idranti*. Per idrante antincendio s'intende "un attacco unificato" dotato di valvola d'intercettazione ad apertura manuale collegato a una rete di alimentazione idrica. Un idrante può essere a muro, a colonna sopra suolo oppure sotto suolo. Esistono anche i *naspi* che sono un'apparecchiatura antincendio composta da una bobina con alimentazione idrica (anche rete sanitaria) assiale, una valvola automatica o manuale d'intercettazione, una tubazione semirigida, una lancia erogatrice e una guida di scorrimento per la tubazione; sono utilizzate in luoghi a basso rischio incendio. Gli idranti sono divisi in due gruppi a seconda se vengono mantenuti o meno sotto la continua pressione d'acqua. Il tipo che trova notevoli applicazioni negli edifici di civile abitazione e nei fabbricati industriali è quello a parete, costituito da un'opportuna manichetta flessibile e da una lancia collegata alla rete idrica

dell'edificio tramite attacco filettato. L'alimentazione idrica di una rete di idranti può provenire da idonee riserve d'acqua appositamente realizzate per l'antincendio, ovvero direttamente dall'acquedotto, e deve fornire costantemente all'intero sistema un'adeguata quantità d'acqua per un tempo sufficiente alle prevedibili necessità e un'adeguata pressione affinché possano essere raggiunti anche i piani più elevati degli edifici da proteggere.

c) *Attacchi di mandata per autopompa.* L'attacco di mandata per autopompa è un dispositivo costituito da una valvola d'intercettazione ed una di non ritorno, dotato di uno o più attacchi unificati per tubazione flessibile antincendio. Serve come alimentazione idrica sussidiaria.

d) *Altre attrezzature.* Per altre attrezzature s'intendono quei mezzi sussidiari d'intervento manuale, che possono essere installati nei luoghi di lavoro e che comprendono il secchiello di sabbia, il piccozzino, la coperta antifiama, la lampada di emergenza autoalimentata, i D.P.I. (elmetto con visiera, indumenti ignifughi, guanti antiustione, stivali in gomma, maschera antigas, autorespiratore etc.).



Figura 3. 16 - Estintore, idrante, attacco di mandata

➤ *I sistemi antincendio.* I sistemi di protezione antincendio si distinguono in: impianti di spegnimento automatico e/o manuale d'incendio; dispositivi di rivelazione e di allarme incendi; sistemi di evacuazione dei fumi.

- *Gli impianti di spegnimento automatico e/o manuale d'incendio.* Gli impianti fissi di spegnimento automatico e/o manuale d'incendio sono quegli impianti che, tramite opportuni dispositivi (rivelatori d'incendio), intervengono automaticamente per l'estinzione di un incendio, fin dalle fasi iniziali. Essi risultano denominati in funzione del tipo di estinguente utilizzato; si distinguono in: acqua; schiuma; polvere chimica; anidride carbonica e ad estinguenti alternativi agli idrocarburi alogenati.
- *Dispositivi di rivelazione e di allarme incendi.* Per rivelatori di allarme d'incendio s'intendono quei dispositivi destinati a rivelare, segnalare e localizzare automaticamente un principio d'incendio, ed hanno il fine di allertare, in tempo utile, le persone presenti, affinché possano abbandonare l'area senza pericoli. Questi impianti sono costituiti essenzialmente da:
 - a) *rivelatori d'incendio*, che sono definiti in base al fenomeno rivelato, e che sono rivelatori di:
 - ✓ fumo (ionizzazione o ottico), sensibili alle particelle prodotte dalla combustione e/o dalla pirolisi sospesa nell'aria;
 - ✓ termici, sensibili ad aumenti di temperatura;
 - ✓ fiamma, sensibili alla radiazione ultravioletta o infrarossa;
 - b) *centralina di controllo e segnalazione*;
 - c) *sorgente di alimentazione elettrica*, necessaria per l'alimentazione della centrale di comando e per i dispositivi ad essa collegati;
 - d) *dispositivi di allarme acustico e/o ottico*;
 - e) *attuatori* (pulsanti), per l'attivazione manuale dell'allarme di emergenza.

- Per evacuatori di fumo e calore s'intendono quei sistemi automatici, che, installati sui soffitti o sulle coperture degli edifici commerciali o industriali, consentono la fuoriuscita dei fumi e dei gas di combustione dovuti all'incendio. L'adozione di tali dispositivi, che nel caso di apertura automatica sono comandati da opportuni sensori, hanno lo scopo di:

- ✓ agevolare l'esodo delle persone presenti;
- ✓ agevolare l'intervento dei soccorritori;
- ✓ evitare, o ritardare, la fase di "flash over" (incendio generalizzato).

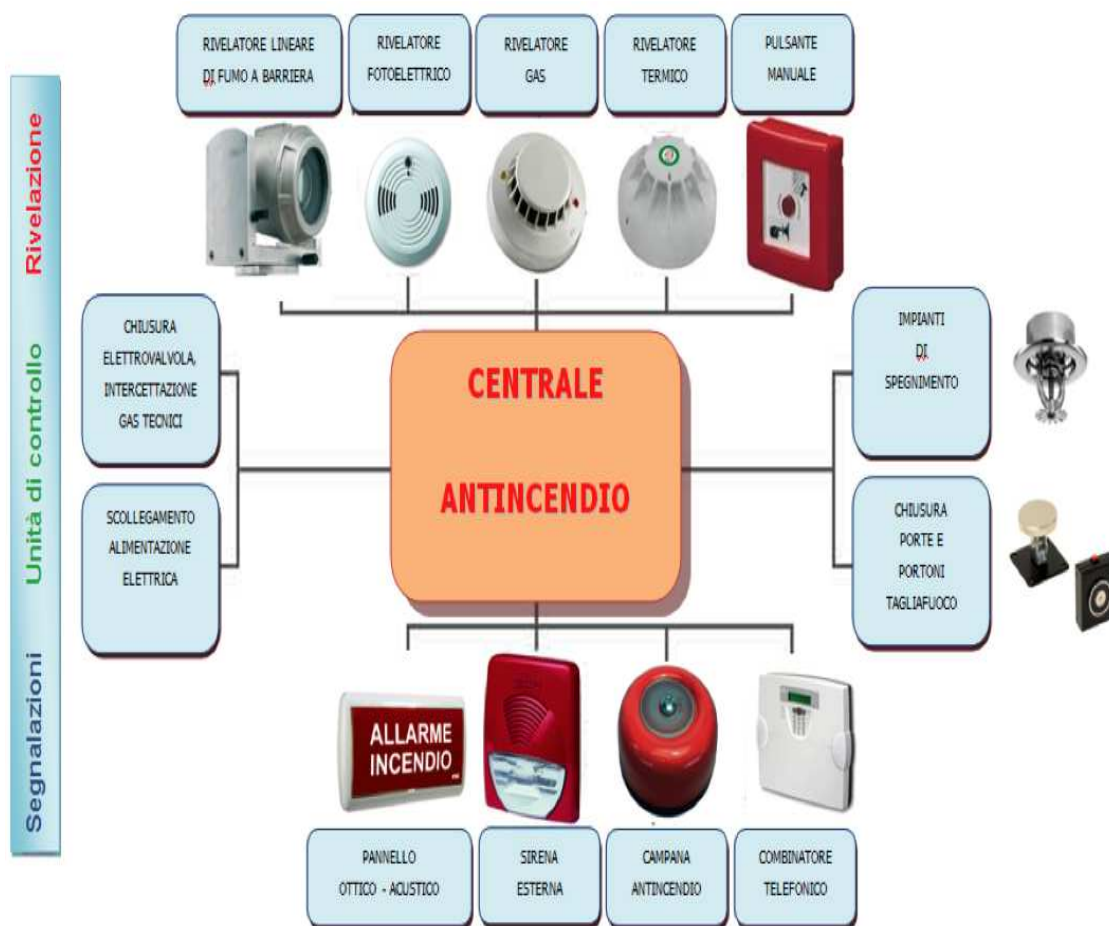


Figura 3. 17 - Centrale Antincendio

3.17.5 Le vie di esodo

Le vie di esodo consistono in un sistema di vie di uscita disposte in modo tale da garantire alle persone di raggiungere, senza assistenza esterna, un luogo sicuro.

Esse devono essere:

- tenute costantemente sgombre;
- in numero e dimensioni adeguate alla estensione del luogo di lavoro, alla loro ubicazione, alla loro destinazione d'uso ed alle attrezzature installate, nonché al numero massimo delle persone che possono essere presenti in tali luoghi;
- realizzate in modo che l'altezza minima non sia inferiore a 2,00 m e la larghezza minima sia conforme alla normativa vigente in materia antincendi;
- evidenziate da apposita segnaletica, conforme alle norme vigenti;
- munite, quando necessario, di opportuna illuminazione di emergenza, che entri in funzione automaticamente, in mancanza di alimentazione elettrica.

Quando nel percorso delle vie e delle uscite di emergenza sono presenti delle porte, queste devono essere apribili nel verso dell'esodo; e nel caso in cui tali porte devono essere tenute chiuse, queste devono potersi aprire facilmente.

Per stabilire se le vie di uscita presenti in un determinato luogo sono adeguate all'uso è necessario che:

- a) ogni luogo di lavoro deve disporre di vie di uscita alternative, ad eccezione di quelli di piccole dimensioni o dei locali a rischio d'incendio medio/basso;
- b) ciascuna via di uscita deve essere indipendente dalle altre e distribuita in modo che le persone possano ordinatamente allontanarsi da un

incendio;

- c) dove è prevista più di una via di uscita, la lunghezza del percorso per raggiungere la più vicina uscita di piano non dovrebbe essere superiore ai seguenti valori:
- 15 – 30 metri (tempo max di esodo 1 minuto) per aree a rischio d'incendio elevato;
 - 30 – 45 metri (tempo max di esodo 3 minuti) per aree a rischio d'incendio medio;
 - 45 – 60 metri (tempo max di esodo 5 minuti) per aree a rischio d'incendio basso.
- d) le vie di uscita devono sempre condurre ad un luogo sicuro;
- e) i percorsi di uscita in un'unica direzione (per quanto possibile) devono essere evitati e nel caso in cui tale condizione non può essere soddisfatta, la distanza da percorrere fino ad una uscita di piano o fino al punto dove inizia la disponibilità di due o più vie di uscita, non dovrebbe eccedere:
- 6 – 15 metri (tempo max = 30 secondi) per aree a rischio elevato;
 - 9 – 30 metri (tempo max = 1 minuto) per aree a rischio medio;
 - 12 – 45 metri (tempo max = 3 minuti) per aree a rischio basso.
- f) le vie di uscita devono disporre di una larghezza sufficiente, in relazione al numero massimo delle persone che possono essere presenti sul luogo di lavoro;
- g) ogni locale, o piano dell'edificio, deve disporre di numero sufficiente di uscite di larghezza adeguata all'uso;
- h) ogni porta sul percorso di uscita deve poter essere aperta facilmente ed immediatamente dalle persone in esodo.

3.17.6 Il Piano di Emergenza

L'emergenza può essere definita come il verificarsi di una situazione anomala (terremoto, incendio, etc.) prevedibile o imprevedibile. Dal punto di vista operativo nel piano di emergenza vengono considerate solo emergenze prevedibili.

Il piano di emergenza consiste in un insieme di misure tecnico-operative predisposte per fronteggiare un'emergenza sul luogo di lavoro. Ha il compito di fornire ai lavoratori istruzioni comportamentali in una situazione di pericolo. Il piano di emergenza è un documento redatto in conseguenza della individuazione e della valutazione dei rischi, può essere costituito:

- per luoghi di lavoro di piccole dimensioni, con rischio d'incendio basso o medio, da istruzioni relative alla descrizione dei luoghi di lavoro e alle attività svolte, al numero dei lavoratori presenti e ad una serie di istruzioni comportamentali per i lavoratori in genere e per quelli incaricati della gestione delle emergenze in particolare;
- per luoghi di lavoro di grandi dimensioni, con rischio d'incendio elevato, da un apposito elaborato comprendente, oltre alle voci riportate al punto precedente, anche la descrizione dei rischi potenziali propri dell'attività (deposito, impianto, etc.); rischi che possono interessare non solo le persone che si trovano all'interno dell'area aziendale, ma anche quelle che si trovano all'esterno di questa.

Il piano di emergenza può essere:

- *Esterno* (PPE), che tratta situazioni di pericolo che possono presentarsi all'esterno del luogo di lavoro di un'azienda, inteso come uno stabilimento industriale, un deposito di materiali infiammabili, una cartiera etc., e che può dar luogo a gravi sinistri, che potrebbero coinvolgere vaste aree geografiche, coinvolgendo anche insediamenti abitativi. Tale piano, viene gestito da un gruppo di esperti, coordinati

dal Prefetto.

- *Interno* (PPI), che tratta situazioni di pericolo che possono accadere all'interno di un luogo di lavoro di un'azienda, inteso come stabilimento industriale, settore, reparto, edificio, etc., viene redatto dal datore di lavoro dell'azienda stessa.

Il piano di emergenza è costituito fondamentalmente da due parti:

- ✓ la prima di carattere generale con la descrizione dei luoghi di lavoro;
- ✓ la seconda con la descrizione delle procedure da porre in essere al verificarsi dell'emergenza.

Nella prima parte del piano è necessario riportare la **strategia**:

- le caratteristiche dei luoghi di lavoro (aree di stabilimento, numero degli edifici, numero dei piani, superfici di piano, tipo di struttura e di copertura del fabbricato etc.);
- il tipo di attività svolta nell'azienda (attività industriale, deposito di materiali infiammabili o combustibili, lavoro di ufficio etc.);
- il numero massimo delle persone che possono essere presenti contemporaneamente sul luogo di lavoro (lavoratori, lavoratori occasionali, pubblico, etc.) e loro collocazione abituale;
- i lavoratori eventualmente esposti a rischi particolari;
- il numero ed i nominativi degli addetti all'attuazione ed al controllo del piano, ed all'assistenza per l'esodo (addetti alla gestione dell'emergenza, esodo, lotta antincendio e primo soccorso) e i loro compiti;
- eventuali informazioni concernenti raccomandazioni sul comportamento da adottare in ambienti di lavoro con rischi particolari;
- opportune piante e/o planimetrie in scala ove siano riportati il tipo, il numero e l'ubicazione dei dispositivi, dei mezzi e degli impianti di lotta agli incendi, l'ubicazione dell'interruttore generale di alimentazione elettrica, della centralina antincendio (ove presente),

della eventuale linea telefonica preferenziale, delle valvole d'intercettazione delle adduzioni del gas o di altri fluidi pericolosi, della cassetta di pronto soccorso etc.;

- le aree, ovvero i locali, dove vengono svolte attività a rischio d'incendio;
- i locali opportunamente compartimentati;
- le scale di emergenza (scale protette, a prova di fumo, esterne).

Nella seconda parte del piano è necessario riportare la **tattica**, ovvero le **procedure operative**, che deve compiere la persona che scopre il verificarsi di un'emergenza:

- necessarie per allarmare tutti i presenti nell'area;
- di primo intervento da attuare mediante i dispositivi e le attrezzature di lotta agli incendi installate nei luoghi di lavoro;
- per l'esodo di tutti i presenti dal luogo di lavoro e l'individuazione del sito di raccolta per tutto il personale;
- per il distacco delle alimentazioni e delle utenze (energia elettrica, gas, etc.);
- per la messa in sicurezza degli impianti e delle macchine;
- per la richiesta di intervento agli Enti preposti alla gestione delle emergenze;
- per l'assistenza alle persone con mobilità, vista ed udito menomato o limitato, alle persone anziane, alle donne in stato di gravidanza ed ai bambini.

Inoltre, per i luoghi di lavoro di grandi dimensioni, il piano di emergenza dovrà comprendere anche opportune planimetrie dove saranno riportate:

- ✓ le caratteristiche distributive dei luoghi di lavoro, con particolare riferimento alle aree a rischio specifico d'incendio, come ad esempio un deposito di materiali infiammabili o combustibili;



- ✓ le vie di esodo;
- ✓ le compartimentazioni antincendio;
- ✓ il tipo, il numero e l'ubicazione delle attrezzature, i dispositivi e gli impianti di estinzione degli incendi;
- ✓ il tipo dei dispositivi di allarme e l'ubicazione delle centrali di controllo.

3.17.7 Le esercitazioni di emergenza

Nel caso in cui in un luogo di lavoro si verifichi un'emergenza incendio è necessario che tutte le persone presenti conoscano ed applichino le procedure riportate nel piano di emergenza dell'azienda e che devono essere state oggetto di opportune esercitazioni da effettuarsi almeno una volta all'anno.

Tali esercitazioni risultano di notevole importanza, in quanto, tutti i lavoratori mettono in pratica le operazioni previste dal piano di emergenza e quindi al verificarsi di un'emergenza sono in grado di eseguire, senza indugio, le operazioni di esodo, che comprendono:

- l'accertamento dell'entità dell'incendio (o di altra emergenza);
- la segnalazione del verificarsi di un incendio (o di altra emergenza), mediante l'attivazione manuale (pulsanti) collegati ai sistemi di allarme acustico e/o ottico installati presso i luoghi di lavoro (per i luoghi di lavoro di piccole dimensioni è sufficiente l'avviso vocale);
- un primo intervento sulle fiamme, mediante l'utilizzo dei dispositivi di lotta agli incendi, se le condizioni del rogo lo consentono;
- la richiesta di intervento degli Enti preposti alla gestione delle emergenze;
- l'esclusione delle alimentazioni e delle utenze, quali l'energia elettrica, il gas etc., e la messa in sicurezza di macchine ed impianti (quando

possibile);

- il coordinamento del personale nelle fasi di esodo dai luoghi di lavoro, ponendo particolare attenzione se nell'area è presente pubblico occasionale ovvero persone che non hanno familiarità con i luoghi di lavoro e con le relative vie di uscita di emergenza;
- l'assistenza alle persone con mobilità, vista ed udito menomato o limitato, alle persone anziane, alle donne in stato di gravidanza ed ai bambini;
- il controllo dell'avvenuto abbandono di tutte le persone presenti nel luogo di lavoro (quando possibile) e successivamente verificando, una volta fuori dall'area interessata dall'incendio (ovvero dall'emergenza), le persone presenti, tramite l'ausilio di idonei elenchi del personale.

3.17.8 Procedure di esodo

Le procedure di esodo da un qualsiasi luogo di lavoro risultano sempre estremamente delicate, in quanto vengono effettuate dai presenti, con stati d'animo in crescente agitazione.

Tali procedure divengono particolarmente problematiche, quando le strutture edilizie ove si è sviluppata un'emergenza incendio risultano avere:

- ✓ un elevato grado di affollamento e dove i soggetti presenti non hanno familiarità con le vie di uscita, come grandi magazzini, discoteche, alberghi, supermercati, ipermercati etc.;
- ✓ un significativo grado di affollamento e dove i soggetti presenti non sono in grado di provvedere, senza aiuto esterno, alla propria incolumità, come ospedali, case di cura, case di riposo per anziani etc.;
- ✓ un alto grado di affollamento e dove i soggetti presenti possono essere facilmente preda del panico, come negli istituti scolastici;



- ✓ un notevole numero di piani in elevazione o in sotterraneo dove alle persone presenti dovrà essere impedito l'utilizzo degli ascensori.

3.17.9 La formazione dei lavoratori

Ogni datore di lavoro è tenuto a fornire ai lavoratori un'adeguata formazione ed informazione sui principi di base della prevenzione incendi e sulle azioni da compiere in presenza di un'emergenza incendio sul luogo del lavoro.

In particolare i lavoratori devono adeguatamente essere informati circa:

- i rischi d'incendio legati all'attività propria dell'azienda;
- i rischi d'incendio legati alle specifiche mansioni del singolo lavoratore;
- le misure di prevenzione e protezione incendio adottate nel luogo di lavoro;
- l'ubicazione delle vie e le uscite d'emergenza;
- i comportamenti da adottare;
- i nominativi dei lavoratori incaricati di applicare le misure di prevenzione incendi, lotta all'incendio e gestione delle emergenze;
- il nominativo del Responsabile del Servizio Prevenzione e Protezione.

Tali informazioni devono essere fornite ai lavoratori all'atto dell'assunzione e devono essere aggiornate nei casi in cui si verificano mutamenti sensibili all'interno dell'azienda.

I lavoratori incaricati della gestione delle emergenze devono frequentare appositi corsi di formazione nei quali i lavoratori saranno formati sul comportamento da adottare in caso d'incendio, in particolare:

- accertare l'entità dell'incendio (o di altra emergenza);
- segnalare a tutto il personale il verificarsi di un incendio;
- effettuare un primo intervento sulle fiamme, mediante l'utilizzo dei



dispositivi di lotta agli incendi, se le condizioni del rogo lo consentono;

- richiedere un intervento degli Enti preposti alla gestione delle emergenze;
- escludere le alimentazioni delle utenze;
- coordinare il personale nelle fasi di esodo dai luoghi di lavoro, ponendo particolare attenzione se nell'area è presente pubblico occasionale ovvero persone che non hanno familiarità con i luoghi di lavoro e con le relative vie di uscita di emergenza.



BIBLIOGRAFIA CAPITOLO III

- [1] Issfort-Asstra “*Alla ricerca di un punto di svolta*”, 6° rapporto sulla mobilità urbana in Italia, Napoli 7 maggio 2009;
- [2] Issfort-Asstra “*Così è, se vi pare*”, 5° rapporto sulla mobilità urbana in Italia, Genova 7 maggio 2008;
- [3] Issfort-Asstra “*Aggiungi un posto in autobus*”, 4° rapporto sulla mobilità urbana in Italia, Firenze 12 aprile 2007;
- [4] Issfort-Asstra “*Dove vanno a finire i passeggeri*”, 3° rapporto sulla mobilità urbana in Italia, Roma 2 marzo 2006;
- [5] Issfort-Asstra “*Avanti c'è posto*”, Report annuale sulla mobilità urbana : i bisogni dei cittadino, le risposte della città, Roma 13 aprile 2005;
- [6] Anfia “*Il libro bianco dell'autobus in Italia*”, Centro studi sui sistemi di trasporto S.p.A, novembre 2007;
- [7] Anfia “*Il nuovo libro bianco dell'autobus in Italia*”, Centro studi sui sistemi di trasporto S.p.A, novembre 2005;
- [8] Istat, “*Statistiche dei trasporti : anno 2004*”, Annuari 2007;
- [9] LA Franca L., Lacava G., “*Corso di tecnica dei trasporti, appunti di trasporti urbani e metropolitani*”, Università degli studi di Palermo, 2006;
- [10] Copit, “*La sicurezza dei trasporti : le soluzioni della tecnologia*”, I quaderni del Copit – 4, Comitato di Parlamentari per l'Innovazione Tecnologica e lo Sviluppo Sostenibile – Onlus;
- [11] Regione Toscana Area extra - dipartimentale Statistica, “*Indagine campionaria sul Trasporto Pubblico*”, Supplemento n. 18 a Informazioni Statistiche - Mensile della Giunta Regionale Toscana, giugno 2001;
- [12] CTP “*Carta della mobilità 2009, in moto verso un futuro blu*” 2009;
- [13] De Majo S. “*Dal vapore al metano 125 anni di storia della CTP, 1881-2006*”, Colonnese Editore, 2006;
- [14] CTP “*Rapporto di sostenibilità*” 2007;
- [15] Elifani G., “*La prevenzione incendi nella piccola e media industria*”, EPC;
- [16] Malizia M., “*Corso per i lavoratori incaricati dell'attività di prevenzione incendi, lotta antincendi, evacuazione dei luoghi di lavoro e gestione delle emergenze*”, Ministero dell'Interno, 2008;
- [17] Amico A. “*Tecnica della prevenzione incendi*” Dario Flaccovio Editore, 2009;
- [18] Corpo nazionale Vigili del Fuoco, “*Manuale di soccorso tecnico*”, 2008;
- [19] Protezione Civile, “*1° Corso dei rischi d'incendio*”, Gruppo operatori radio, 2008;
- [20] A. Monaco, “*Formazione antincendio di base : corso di prevenzione incendi, lotta antincendio e gestione delle emergenze, Livello C rischio di incendio elevato*”, Comando provinciale vigili del fuoco Udine, 2000;
- [21] Edmondo e Paolo Lavè “*Il manuale dell'addetto Antincendio*”, ed.EPC libri;
- [22] Ricci M., Orsini A., “*Chimica e fisica degli incendi*”, Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco, Servizio Tecnico Centrale;
- [23] Paduano “*Rischio Incendio*”, Consiglio Nazionale delle Ricerche, Servizio di Prevenzione e Protezione, 2008;
- [24] Lazzarotto E. “*Prevenzione incendi*” Gruppo editoriale Esselibri, 2001;
- [25] Tosi A., “*Tecnologie antincendi nelle costruzioni*” Antonio Vallardi editore, 1950;
- [26] Dipartimento dei Vigili del Fuoco, del Soccorso Pubblico e della Difesa Civile, “*Corso di prevenzione incendi modulo I*”, Direzione Centrale per la Formazione, 2008;
- [27] Provincia di Roma, “*Chimica e fisica della combustione*”, Territorio Digitale;
- [28] Di Leo R., “*Servizio Prevenzione Protezione*”, università degli Studi di Salerno, 2004;
- [29] Rizzo R. “*La sicurezza degli impianti industriali*”, Edizioni scientifiche italiane, 1998;
- [30] Cardillo Paolo, “*Guida allo studio e alla valutazione delle esplosioni di gas e vapori*” Monografia, Stazione sperimentale per i Combustibili San Donato Milanese;
- [31] Cardillo P., “*Guida allo studio e alla valutazione delle esplosioni di polveri*”, Monografia, SC Sviluppo Chimico, Milano, 2002;
- [32] Marinelli S. “*La formazione dell'addetto antincendio*” EPC Libri;
- [33] Brisi C. “*Chimica applicata*”, Levrotto & Bella, 1982;



- [34] Della Volpe R., *“Macchine”* Liguori Editore, 2002;
- [35] Di Fraia R., *“Sistemi per la rilevazione automatica degli incendi e fughe di gas e sistemi per lo spegnimento degli incendi : progetto antincendio di una fabbrica”*, Tesi di laurea in ingegneria meccanica, DIMP, Università degli Studi di Napoli, 2006/2007;
- [36] Lenzi R., *“Resistenza al fuoco delle strutture”* EPC libri, 2006;
- [37] Tuttonormel *“Legislazione e classificazione di luoghi con pericolo di esplosione”*, Edizioni TNE, 2006;
- [38] D’Errico A., Restuccia N. *“Le sostanze esplosive”*, Convegno sulla Valutazione e Gestione del Rischio negli insediamenti civili e industriali, 2002;
- [39] Salimbeni D., *“Seminario di prevenzione incendi”*, Corso di studi in ingegneria elettrica, Università degli Studi di Cagliari, 2004;
- [40] Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco *“Supporti didattici per lo svolgimento dell’attività formativa per le Aziende”*, Servizio Tecnico centrale, 1997;
- [41] Nassi L., Marsella S., *“L’ingegneria della sicurezza antincendio e il processo prestazionale”*, EPC Libri, 2006;
- [42] Vari *“Manuale per progettisti tecnici : evacuatori di fumo e calore”*, Tecnocupole Pancaldi;
- [43] Monte A., *“Elementi di impianti industriali”*, Cortina Editore, 2003;
- [44] Nigro L., Marinelli S., *“Impianti antincendio”* EPC Libri, 2007;
- [45] Scuola Provinciale Antincendi *“Sostanze estinguenti dispensa schiume”*, Provincia Autonoma di Trento;
- [46] Ungaro R. *“Corso di specializzazione di prevenzione incendi per i professionisti ingegneri”*, Ordine degli Ingegneri della Provincia di Modena;
- [47] Vescovi S. *“Criteri di prevenzione incendi”*, Laboratori Nazionali di Frascati, 2001;
- [48] Leslie P. Omans *“I liquidi schiumogeni utilizzati per gli incendi di liquidi combustibili”*, Rivista antincendio, novembre 1994;
- [49] Maiello L., Sica G. *“La valutazione del rischio incendio ai fini progettuali”*, Incontro di aggiornamento tecnico sull’antincendio – Milano, 19 novembre 2004.
- [50] Giuseppe Ascenzi – Giacomo Villi – Graziano Vulpiani, *Ingegneria della Sicurezza Antincendio - Guida all’utilizzo di FDS*, 2010.

SITOGRAFIA CAPITOLO III

- {1} <http://www.anfia.it>
- {2} <http://it.wikipedia.org>
- {3} <http://www.namet.it>
- {4} <http://www.ctpn.it>
- {5} <http://projects.elis.org/leonardo>
- {6} <http://www.firestop.it>
- {7} <http://www.ania.it>
- {8} <http://www.udine.vigilidelfuoco.it>
- {9} <http://www.corpoforestale.it>
- {10} <http://www.unpsi.it>
- {11} <http://www.vigilfuoco.it>
- {12} <http://www.antincendio.it>
- {13} <http://projects.elis.org/leonardo>
- {14} <http://www.ania.it>
- {15} <http://projects.elis.org/leonardo>
- {16} <http://it.wikipedia.org>
- {17} <http://projects.elis.org/leonardo>



CAPITOLO IV

IL COMPORTAMENTO UMANO DURANTE LE EMERGENZE

Premessa

Dopo aver discusso sul Rischio Incendio e sulla corretta procedura da adottare per poterlo gestire e contenere al meglio, occorre capire quali sono i fattori che devono necessariamente essere presi in considerazione quando si studia un processo di evacuazione da una struttura.

Nello specifico, oltre ai fattori “oggettivi”, quali ad esempio quelli strutturali e normativi, è importante considerare i fattori “soggettivi”, legati cioè alle reazioni che avranno le persone in una situazione di emergenza.

Studiare il comportamento umano in caso di incendio è la naturale conseguenza dello sviluppo in seno alla ricerca antincendio di una specifica tematica che, divenuta sempre più importante, attraverso gli anni settanta e ottanta, è giunta in questo momento a una verifica di maturità anche attraverso l'abbandono dei codici prescrittivi di progettazione antincendio e l'attuazione in molti paesi del mondo del performance-based.

Il presente capitolo analizza questi aspetti e le principali teorie che verranno poi poste alla base del modello simulativo costruito.



4.1 Cenni introduttivi sul comportamento umano

Con il termine *comportamento* si intende l'insieme delle risposte che l'organismo animale dà in conseguenza a stimolazioni esogene e/o endogene. È l'espressione di una vasta rete di eventi di ordine biologico e psicologico, altamente integrati a molti livelli.

È provocato sempre da uno stimolo (*input*) e può modificarsi con il tempo e l'esperienza. Il comportamento non va valutato in maniera astratta, ma va legato ad una specifica attività dell'individuo o dei gruppi. Può considerarsi una pluralità di azioni organiche che danno la possibilità di definire il modo di esistere di un individuo o di un gruppo. Si distinguono comportamenti individuali e collettivi. Questi ultimi sono una risposta a tensioni strutturali, a tensioni istituzionali e hanno bisogno di fattori precipitanti. Quanto ai fini o ai motivi che lo scatenano, essi sono i più vari: dagli eventi bellici, alle catastrofi, alle crisi economiche, alle proteste politiche, ai conflitti razziali o etnici e perfino a situazioni di antagonismo sportivo o di quartiere o a fenomeni che hanno commosso l'opinione pubblica.

In genere il comportamento collettivo ha come fondamento o motivazione la soluzione di un problema, di una difficoltà. Si possono evidenziare, in emergenza:

- **Comportamenti collettivi adatti** - Sono quelli caratterizzati dal persistere e/o dal riorganizzarsi delle strutture di quel gruppo sociale, quali ad esempio gli uffici comunali, le scuole, gli ospedali;
- **Comportamenti collettivi inadatti** - Sono quelli caratterizzati da una risposta non logica e non razionale; producono conseguenze pericolose per la sicurezza delle vittime e degli stessi soccorritori. Le reazioni più frequenti sono quelle di “commozione – inibizione - stupore” e quella di “panico”.



I comportamenti collettivi, in generale, possono essere riferiti alle zone dell'evento e alle fasi dell'evento, a seconda che si consideri l'asse dello spazio o l'asse del tempo:

✓ **Comportamenti in riferimento alle zone:**

- **zona d'impatto** (i superstiti sono pochi e hanno comportamenti cosiddetti di “commozione-inibizione- stupore”);
- **zona di distruzione** (le persone colpite possono manifestare comportamenti inadatti quali indecisione, azioni inutili e non coordinate, fuga centrifuga, panico);
- **zona marginale** (le persone in questa zona possono avere comportamenti di inquietudine, incertezza, angoscia; questa è una zona di importanza fondamentale nella quale l'elevato numero di persone, aventi scopi diversi, potrebbe dare origine al panico);
- **zona esterna** (possono esservi comportamenti che aumentano il disordine, causati dalla gente che cerca di andare verso il centro; necessità di misure d'ordine chiare e precise).

✓ **Comportamenti in riferimento alle fasi:**

- **fase di preallarme** (serve a valutare il grado di preparazione della gente in vista di un evento calamitoso);
- **fase di allarme** (caratterizzata da uno stato di angoscia utile, che può degenerare in agitazione - fino al panico - se la fase precedente non è stata affrontata in modo efficace);
- **fase di shock** (provoca uno stress più o meno intenso che può provocare disorientamento spazio-temporale);
- **fase di reazione** (deriva dalla precedente e provoca perdita delle capacità individuali di decisione razionale e spesso ricerca di protezione o di un modello esterno);
- **fase di risoluzione** (caratterizzata dal ritorno alla coscienza);



- **fase post-catastrofe** (in questa fase possono esservi comportamenti collettivi di violenza e vandalismo; ricerca di un “capro espiatorio”; comportamenti di dolore collettivo e/o “sindrome del sopravvissuto”).

4.2 Il comportamento umano in caso di incendio

Lo studio del comportamento umano in caso di incendio [1], come nel caso di una generica emergenza, presenta delle difficoltà non facilmente superabili, poiché molte delle situazioni di cui sarebbe importante conoscere i dati non possono essere simulate in laboratorio. Inoltre può essere considerata relativa l’attendibilità dei dati tratti a seguito di esercitazioni nelle quali manca l’effetto sorpresa o ansia, lo stress e la possibilità di panico che possono manifestarsi in situazioni reali. Soprattutto la complessità del comportamento umano rende difficile la previsione dei dati che sarebbero utili ai fini della sicurezza antincendio.

A queste difficoltà va aggiunto che, come dicono Luca Pierantoni e Gabriele Prati nel loro saggio “il comportamento umano negli incendi” [2], per anni gli ingegneri che si sono occupati di sicurezza si sono basati sul semplice presupposto che quando si attiva un allarme sonoro, le persone iniziano ad evacuare immediatamente. Si credeva che la rapidità con cui le persone riuscivano ad uscire da un edificio dipendesse principalmente dalle abilità fisiche individuali, dalla locazione dell’uscita di sicurezza e dall’azione di propagazione dell’evento, naturale o non, che aveva portato alla situazione d’emergenza.

Tuttavia il lavoro degli scienziati ha mostrato che sono ben diversi i comportamenti osservati nelle persone durante le situazioni di pericolo e di emergenza. In realtà, la ricerca ha mostrato che gli individui dopo un allarme



occupano una parte del tempo in attività non rivolte all'evacuazione e che questo intervallo può costituire fino a due terzi del tempo che si impiega per uscire dall'edificio. La naturale inclinazione delle persone sarebbe quella di voler “definire” la situazione prima di “rispondere” di fronte ad un allarme sonoro che di per sé è uno stimolo intrinsecamente ambiguo. Per tale motivo, le persone aspettano altri indicatori ambientali, come ad esempio l'odore del fumo, le urla di una persona ferita, un collega che gli dice di uscire, o cercano informazioni su cosa sta accadendo. Le persone tendono a pensare che la probabilità che l'allarme corrisponda ad un evento reale e che questo possa rappresentare un pericolo per loro sia estremamente bassa.

L'espressione inglese “milling” (girovagare come un mulino) indica proprio l'interazione sociale nelle prime fasi di allarme: gli individui verificano e cercano una conferma con le altre persone della gravità del messaggio o dell'avvertimento che hanno ricevuto; solo quando la rete sociale conferma la validità dell'avviso, iniziano ad eseguire azioni protettive. Alle persone che tendono all'inerzia, non piace interrompere un'attività per rispondere ad un allarme.

Usando una pluralità di metodi di ricerca, come osservazione diretta dell'evacuazione tramite telecamere nascoste o interviste a sopravvissuti di incendi, *Proulx (2005)* [3], uno dei più autorevoli in materia, ha mostrato che in media ci vogliono tre minuti prima che le persone inizino a lasciare l'appartamento in un edificio residenziale. Anche se a prima vista sembra modesto, sappiamo, ad esempio, che il fuoco si evolve molto rapidamente e in un incendio reale tre minuti potrebbero essere una questione di vita o di morte.

Lo studio su come gli occupanti di un edificio reagiscono ad un incendio o ad un danno strutturale esiste da 30 anni ma è stato sollecitato da eventi drammatici recenti. Secondo gli studi del NIST, National Institute Of



Standards And Technology, che ha ricostruito il comportamento di evacuazione delle 15'000 persone nelle Twin Towers l'11 settembre 2001, è stato stimato che il 70% delle persone nel World Trade Center che sopravvissero a quel disastro, prima di fuggire, parlò fra loro sul da farsi e su cosa stesse succedendo. Proulx ha analizzato i resoconti di 324 persone sulla loro evacuazione dai grattacieli, l'83% ha giudicato la situazione molto grave nei primi minuti dopo lo schianto; tuttavia anche dopo aver visto le fiamme, il fumo e le carte che volavano, solo il 55% dei superstiti è evacuato immediatamente, il 13% si è fermato per recuperare i propri beni personali, il 20% ha messo in sicurezza i suoi dati personali e poi ha girato per il piano prima di evacuare, l'8% aveva inizialmente deciso di restare ma dopo ha cambiato idea.

È quindi evidente come sia fondamentale la comprensione più accurata possibile del comportamento degli individui in caso di emergenza se si vuole realizzare una analisi prestazionale completa dell'evacuazione di un edificio.

Va quindi precisato che, per quanto riguarda l'analisi del comportamento umano, le considerazioni possono essere di tipo qualitativo o quantitativo. A questo riguardo può essere utile riassumere il rapporto tra argomento e tipo di analisi, che evidenzia ulteriormente i motivi che rendono difficile la valutazione del comportamento umano.

Tabella 4.1 – Analisi del comportamento umano

Tema	Analisi
Caratteristiche degli occupanti	Qualitativa
Risposta umana agli indizi	Analisi generale qualitativa, valutazione quantitativa dei tempi attraverso l'esame di casi di studio
Processo decisionale	Analisi generale qualitativa, valutazione quantitativa dei tempi attraverso l'esame di casi di studio
Movimento	Analisi generale e valutazione quantitativa

4.3 Le caratteristiche degli occupanti

Le caratteristiche delle persone presenti nell'edificio, che per conformità con i testi normativi e tecnici reperibili è possibile definire “occupanti”, costituiscono un aspetto fondamentale nella previsione della risposta in caso di incendio. Purtroppo questo argomento deve essere trattato attraverso valutazioni di tipo qualitativo, e la conseguente difficoltà di renderne omogeneo l'esito con il processo di valutazione numerica porta in alcuni casi a trascurarne la rilevanza.

Nella valutazione delle caratteristiche degli occupanti si devono analizzare le caratteristiche chiave dei gruppi specifici. Per esempio la familiarità con le procedure di emergenza, la capacità e la velocità di reazione possono essere elementi determinanti. Questo tipo di valutazione è basato sulla conoscenza del processo di ricezione, di interpretazione e di validazione degli indizi.

In generale il processo di decisione e di movimento legati all'esodo può essere schematizzato come mostrato in Figura 4.1.



Figura 4. 1 - Processo di decisione e di movimento legati all'esodo



Gli indizi che possono essere presi in considerazione da una persona coinvolta in qualche modo da un incendio all'interno di un edificio possono essere:

- allarmi forniti dai sistemi di rilevazione ed allarme;
- percezione diretta dei prodotti della combustione;
- comunicazione da parte di altre persone;
- interruzione dei servizi (energia elettrica, comunicazione o simili).

Tutti questi segnali non danno inizio necessariamente all'esodo, ma devono essere valutati in relazione alle caratteristiche dei gruppi di persone identificati ai fini della risposta per l'evacuazione.

Per quanto riguarda il processo di decisione, la valutazione deve prendere in considerazione quali azioni le persone possono adottare dopo aver ricevuto ed interpretato gli indizi provenienti dall'ambiente circostante.

Tali azioni possono ricadere tra le seguenti:

- ✓ cercare ulteriori informazioni;
- ✓ cercare altre persone;
- ✓ cercare di avvisare altre persone;
- ✓ tentare l'estinzione dell'incendio;
- ✓ iniziare l'esodo;
- ✓ proseguire la propria attività.

La documentazione di eventi avvenuti nel passato dimostra che queste azioni possono ritardare l'inizio del movimento verso un luogo sicuro e l'esame di questi dati deve essere particolarmente attento, poiché i tempi di esodo registrati nella realtà devono essere valutati alla luce delle specifiche caratteristiche delle persone presenti.

Un ulteriore elemento da valutare è quello relativo alle persone che si trovano sole in un ambiente. La presenza di altre persone ha un effetto di inibizione



sull'avvio dell'esodo quando tutti gli indizi sono incerti, anche se aumenta la possibilità di essere avvertiti da un allarme. Al contrario, una persona sola risponderà più velocemente a indizi certi. La familiarità con l'edificio gioca un ruolo importante nella strategia di sicurezza. Chi conosce bene l'ambiente in cui si trova, di solito conosce bene le vie di esodo e può localizzare quella più vicina, soprattutto se ha preso parte ad esercitazioni di emergenza e se esse sono state svolte con la frequenza appropriata.

Al contrario, è più probabile che per allontanarsi dall'edificio, gli occupanti utilizzino il percorso utilizzato per l'ingresso. A questo riguardo deve essere analizzata la segnaletica di sicurezza, affinché le persone possano farne un uso corretto. È esperienza quotidiana di tutti trovarsi davanti a un gran numero di cartelli di sicurezza, anche se i percorsi utilizzati per l'esodo sono quasi sempre quelli più familiari, e questo implica una maggiore difficoltà di percorso in caso di emergenza. È possibile ritenere che le vie di esodo alternative siano utilizzate solo dopo che sia stata verificata l'impraticabilità di quelle già note.

Il tempo di pre-movimento sarà influenzato dal tipo di attività che le persone stanno svolgendo all'interno dell'edificio, che possono comportare dei tempi di reazione necessariamente molto differenti; altri aspetti che vanno valutati nell'analisi delle caratteristiche di comportamento riguardano aspetti come il genere, l'età, le capacità fisiche e sensoriali, la familiarità con l'ambiente, le esperienze di emergenze e di incendio, il ruolo sociale e l'impegno verso la propria attività. L'importanza delle caratteristiche è relativa alla particolare valutazione che deve essere svolta e tali aspetti possono essere riferiti al solo gruppo che risulta essere più critico ai fini della valutazione.

Nella tabella 4.2 si schematizzano alcune tra le principali caratteristiche degli occupanti che hanno rilevanza ai fini dell'esodo in caso di emergenza.



Tabella 4. 2 – Schematizzazione della risposta umana in relazione alle caratteristiche più significative delle persone coinvolte in una situazione di emergenza

Caratteristiche delle persone	Descrizione
Numero delle persone e densità	La densità di persone e, quindi, il numero massimo ammesso in ogni ambiente sono spesso indicati dalle norme. La densità influenza la velocità di esodo.
Da soli o con gli altri	L'essere soli o con altre persone inibisce l'avvio di azioni particolari quando gli indizi sono incerti, ma garantisce migliore comunicazione.
Affiliazione sociale	Insieme al punto precedente questo aspetto può essere rilevante nella determinazione del tempo di pre-movimento, poiché alcuni gruppi potrebbero cercare di ricomporsi prima di iniziare il movimento.
Familiarità con l'ambiente	La conoscenza delle vie di esodo e dei sistemi di allarme garantisce procedure di esodo più rapide, soprattutto in presenza di svolgimenti regolari delle esercitazioni di emergenza.
Ruolo e responsabilità	Il ruolo sociale può essere rilevante nell'emergenza, soprattutto se associato ad autorità ed addestramento.
Ubicazione	Oltre ad essere rilevante il tempo di movimento, l'ubicazione può influenzare la comprensione dell'allarme ed anche la sua ricezione.
Impegno	Le persone si trovano in un determinato ambiente per un motivo. L'esistenza delle ragioni per cui sono presenti può proseguire anche dopo la ricezione dei primi indizi sull'esistenza di condizioni anomale, e questo può rendere le persone riluttanti a rispondere alle esigenze dell'emergenza.
Punto focale	Molti edifici hanno un ambiente verso cui le persone guardano o convergono. Questo tipo di attenzione si manterrà anche in caso di allarme e potrà essere utilizzato durante l'emergenza per fornire indicazioni sull'esodo o sul comportamento.



Caratteristiche delle persone	Descrizione
Condizioni delle persone	Durante l'esodo le condizioni delle persone possono cambiare in relazione alla concentrazione o alla dose accumulata di specie tossiche con le quali sono venute in contatto.
Genere	Una delle caratteristiche che distingue gli uomini dalle donne riguarda la maggiore attitudine degli uomini a cercare di combattere gli incendi mentre le donne sono più pronte a fuggire ed avvertire gli altri presenti.
Età	La variazione delle capacità mostrate nel comportamento in emergenza delle persone in relazione all'età sono state suddivise nelle tre categorie delle capacità, del processo decisionale e delle azioni. Di esse, la diminuzione delle prestazioni fisiche dovrebbe influenzare soprattutto la resistenza ad agenti tossici o irritanti.

4.4 Risposta agli indizi

Il processo di risposta agli indizi è composto essenzialmente da tre fasi:

1. ricezione (sentire fisicamente);
2. riconoscimento (riconoscere come tale l'indizio);
3. interpretazione (dare all'indizio il suo significato).

La valutazione di tale comportamento può essere svolta solo dopo che siano state identificate le caratteristiche del gruppo di persone esposte al rischio. Per indizi, ai fini della sicurezza antincendio, si intendono i prodotti della combustione, i segnali di allarme, le comunicazioni da parte di altre persone. I prodotti della combustione sono presenti, di solito, nell'ambiente interessato dall'incendio, ma possono essere percepiti anche in altre aree. Il contatto con



i prodotti della combustione può avviare anche il processo di allarme nei riguardi di altre persone presenti.

Per quanto riguarda i segnali generati da un sistema automatico di allarme si deve considerare il fatto che possono essere interpretati in modo diverso. La loro rilevanza ai fini della decisione delle azioni da adottare, quindi, deve essere valutata specificamente. Anche l'efficacia dell'avvertimento diretto da parte di altre persone deve essere valutato allo stesso modo.

In generale si deve ricordare che quanto è stato registrato dopo incendi reali mostra che le persone non iniziano l'esodo immediatamente dopo la ricezione dei primi indizi. Necessariamente trascorrerà un tempo per l'elaborazione del messaggio ricevuto. Tale tempo è definito nella letteratura tecnica come *tempo di validazione dell'indizio*.

La ricezione dei segnali di allarme dipenderà dalle capacità percettive dell'individuo e dalle caratteristiche di percepibilità del segnale.

È stato sottolineato che la realizzazione di sistemi di allarme di solito presuppone che i sistemi stessi mettano i presenti nella condizione di avviare l'esodo di emergenza con un minimo ritardo. Quasi senza eccezione, però, i dati sperimentali contraddicono questa presunzione e suggeriscono l'idea che un allarme da solo non avvii l'esodo ma dia un inizio alla ricerca di ulteriori indizi, e cioè alla fase di conferma dell'indizio.

4.5 Evacuazione di una folla di individui

L'evacuazione di emergenza da un edificio è un processo complesso, che ha avvio quando le persone divengono cosce dell'esistenza di una situazione di



emergenza e mettono in atto una serie di processi mentali e di azioni, prima e durante l'adozione di azioni che li portano verso luoghi sicuri.

Come detto in precedenza, gli indizi iniziali possono essere quelli legati alla percezione diretta del pericolo, come per esempio di un incendio, oppure possono risultare ad esempio dall'attivazione di segnali di allarme o di comunicazioni da parte di altre persone.

Una volta ricevuti questi indizi, la persona inizierà un processo di validazione che proseguirà anche durante la fuga. Prima dell'inizio dell'esodo la persona dovrà prendere decisioni, su cosa fare, se raccogliere degli oggetti, se chiamare altre persone, aiutandole eventualmente a portarsi in salvo. Una volta che la persona si è portata in un luogo sicuro, e cioè un luogo nel quale è certamente al riparo da qualunque effetto di incendio, sarà trascorso un certo intervallo di tempo dall'inizio del pericolo, questo tempo nella letteratura tecnica internazionale è definito *Required Safety Egress Time*, RSET; esso dovrà essere necessariamente inferiore a quello massimo consentito per garantire le condizioni di sopravvivenza, questo secondo tempo è conosciuto come *Available Safety Egress Time*, ASET.

Il rapporto tra questi due tempi costituisce il fattore di sicurezza che l'edificio garantisce in caso di emergenza. Per la valutazione del tempo richiesto, RSET, è necessario conoscere fondamentalmente le caratteristiche di reazione delle persone, mentre per la definizione di tempo massimo disponibile, ASET, dovranno essere valutate le caratteristiche ambientali e dei materiali.

Fino a poco tempo fa una folla in fuga da uno spazio chiuso a causa di un incendio era considerata come un liquido in uscita da un contenitore, che sfrutta ugualmente tutte le aperture per evadere; quindi maggiore è il numero delle uscite e più velocemente il "contenitore" è vuotato. Questo modello "idraulico", tuttavia, non rende conto della realtà: oltre all'ingegneria bisogna



includere conoscenze che derivano dallo studio dei comportamenti umani in psicologia e nelle scienze sociali; la folla non è un fluido ma è composta da persone che pensano, interagiscono, prendono decisioni, hanno preferenze di movimento, cadono e ostacolano altri.

Le persone possono avere comportamenti gregari o individualistici nella ricerca di un'uscita. Pensiamo ad una situazione familiare, come l'uscita da una sala cinematografica o da un teatro, attraverso le uscite di emergenza: anche in una situazione di normalità, quindi senza la presenza di eventi critici, il deflusso risulta notevolmente influenzato dalle differenze nei comportamenti individuali e dalle modalità di interazione tra le persone. Immaginiamo ora la stessa situazione, durante un'evacuazione di emergenza con lo stress emotivo, l'ansia e la preoccupazione per la sopravvivenza personale.

In queste circostanze, le persone si muovono o tentano di muoversi più velocemente del normale, iniziano a spingersi e l'interazione diventa solo fisica, in tal modo il passaggio per il collo di bottiglia diventa scoordinato e alle uscite si formano strutture ad arco.

Per tale ragione si può verificare l'effetto paradossale chiamato "faster is slower" in cui più le persone si dirigono velocemente verso l'uscita, più procedono lentamente perché si accalcano, si spingono, a volte perfino si calpestano. In aggiunta, la fuga può essere maggiormente rallentata dalle persone che cadono o che si feriscono e che diventano a tutti gli effetti nuovi ostacoli; in alcuni casi l'interazione fisica può addirittura causare una pressione pericolosa capace di sfondare barriere o muri. Infine va considerata anche l'evenienza, come mostrato in Figura 4.2, nell'evacuazione da una stanza con due uscite e un fronte di fuoco in avvicinamento che si verifichi una tendenza a comportamenti gregari e a fare ciò che fanno gli altri: in tal

modo le uscite alternative possono essere trascurate o non usate in modo efficiente.

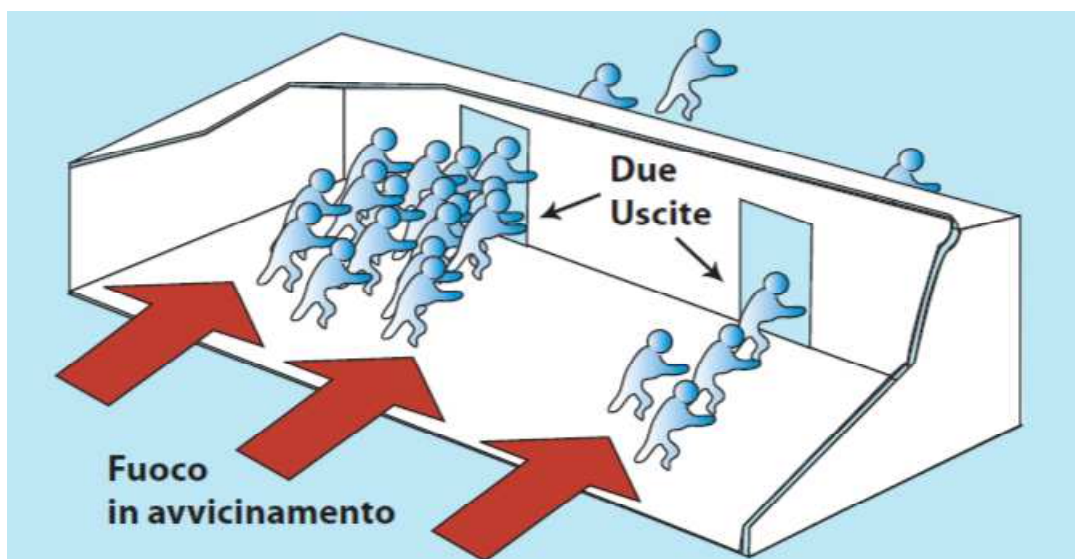


Figura 4. 2 - Comportamenti gregari

4.6 Fattori che regolano l'efficacia dell'evacuazione

Gli studi hanno evidenziato una pluralità di fattori che regolano l'efficacia di una evacuazione. Se ne possono distinguere quattro:

1. *Fattori Configurazionali* - sono quelli riguardanti la struttura architettonica dell'edificio, quali il numero delle uscite di emergenza, la loro ripartizione o il percorso per giungerci;
2. *Fattori Ambientali* - in essi si includono i probabili effetti debilitanti sulle persone da parte di calore, gas tossici, fiamme e l'influenza che questi hanno sulla velocità di sgombero e di individuazione delle stesse;

3. *Fattori Procedurali* - rappresentano le conoscenze apprese dalle persone attraverso la segnaletica d'emergenza e le informazioni fornite dal personale preposto; in questo caso la chiarezza del messaggio e la presenza di una leadership che impartisca direttive è fondamentale per la sopravvivenza degli attori;
4. *Fattori Comportamentali* - corrispondono alle diverse condotte tenute dalle persone in emergenza: le loro risposte iniziali, le loro decisioni, le interazioni sociali, le relazioni fra i membri del gruppo.

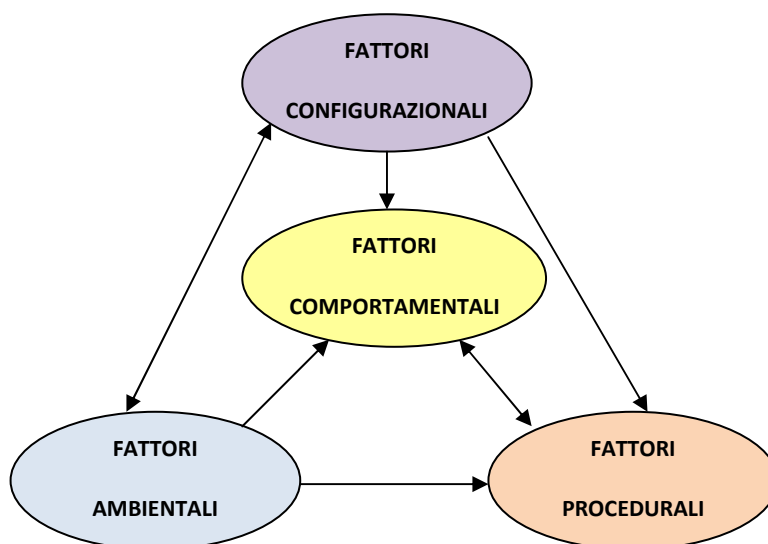


Figura 4. 3 - Fattori che regolano l'efficacia di una evacuazione

Come si nota dalla Figura 4.3, i quattro fattori interagiscono tra loro regolando l'efficacia di un'evacuazione: i fattori configurazionali e ambientali sono tra loro interconnessi ed entrambi influenzano sia le procedure che i comportamenti umani. Anche i fattori procedurali e quelli comportamentali sono tra loro in interazione: una procedura può guidare l'esecuzione di una sequenza di azioni, ma anche alcuni comportamenti di un individuo potrebbero dare indicazioni sulle procedure da selezionare ed eventualmente da modificare. La collocazione centrale dei fattori



comportamentali rispecchia la loro importanza e rilevanza: anche in condizioni ottimali, quali un congruo numero di uscite di emergenze, ben evidenziate, senza problemi di visibilità, un comportamento erraneo di un individuo o di un piccolo gruppo può rendere vano anche le migliori progettazioni architettoniche.

4.7 Comportamenti e reazioni umane nelle situazioni d'emergenza

Poiché una situazione di emergenza non riguarda mai un singolo individuo bensì un numero cospicuo di persone, sono stati svolti diversi studi per capire come queste si comportino per sopravvivere ad una minaccia. Testimonianze di superstiti, “case study” e ricerche su campo in simulazioni hanno evidenziato la forte eterogeneità delle risposte individuali (una delle più famose teorie è quella di Leach del 2004, approfondita nel paragrafo 4.12).

Utilizzando un modello a stadi, *Dyregrov, Solomon e Bassoe (2000)* [4] hanno descritto ciò che loro chiamano un “sistema di mobilitazione delle risorse mentali” per assicurare la sopravvivenza nelle situazioni di pericolo. Parallelamente all’attivazione fisiologica la mente cerca rapidamente le informazioni immagazzinate per prendere delle decisioni sulle azioni da svolgere. Questo processo, come mostrato in Figura 4.4, può essere suddiviso in sei fasi specifiche, ognuna con una propria peculiarità.

Nella prima fase, si comprende di esser in pericolo e si è spaventati dalla situazione.

Poi, nella seconda fase, ci si rende conto di essere vulnerabili; si può essere sopraffatti dal panico e sentirsi estremamente deboli.

Nella fase terza, si capisce che per riuscire a sopravvivere bisogna agire; si passa da un focus interno di vulnerabilità a uno esterno di pericolo.

Nella fase successiva, il pericolo è visto come un problema da risolvere, tenendo conto delle proprie abilità per fronteggiarlo; consapevolmente o istintivamente si elabora un piano di azione pronto per essere attuato; si diventa più calmi e controllati.

Nella quinta fase è il momento dell'azione, in cui si mette in atto ciò che consapevolmente o istintivamente è stato progettato; la mente è chiara e focalizzata sul compito e, in tal modo, esprime fiducia e controllo.

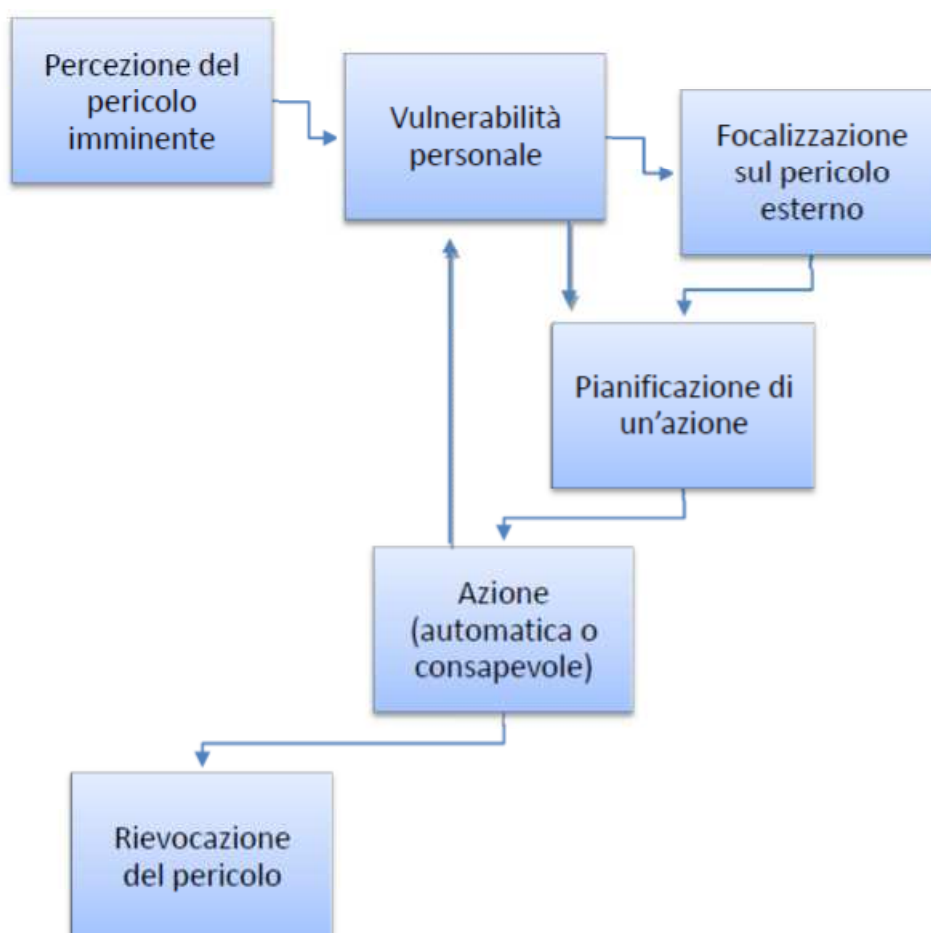


Figura 4. 4 - Sistema di mobilitazione delle risorse mentali



Infine, una volta scampati al pericolo, si torna con la mente alla situazione tragica cui si è sopravvissuti; le persone che rimangono per lungo tempo in questa fase potrebbero avere problemi successivi di equilibrio psicologico, i cosiddetti “pensieri intrusivi” e lo sviluppo del Disturbo Acuto da Stress e il Disturbo da Stress Post-Traumatico.

È da tenere presente che, durante una situazione di emergenza, le persone possono rimanere bloccate in una di queste fasi specifiche, oppure continuare a slittare avanti e indietro ripetutamente fra due o più di esse.

4.8 La paura

La paura è una sensazione individuale presente, in modo più o meno accentuato, in tutti gli animali superiori. Consiste in un’emozione, spesso preceduta da un senso di sorpresa, provocata dalla presa di coscienza di un pericolo presente e imminente che avvertiamo come una minaccia contro la nostra incolumità. Costituisce una garanzia essenziale contro i pericoli, un riflesso condizionato che permette di sfuggire provvisoriamente alla morte.

L’uomo ha ereditato numerosi tropismi (cioè comportamenti automatici) per reagire ad una minaccia imminente, meglio osservabili negli animali superiori. Il primo fra questi è il rizzarsi dei peli e dei capelli. Questo si manifesta negli animali di fronte ai predatori quando ogni altra via di salvezza è preclusa: il rizzarsi del pelo li fa apparire più grandi e minacciosi.

Un altro tropismo usato per fronteggiare la paura è la catalessi, in conseguenza della quale chi è minacciato rimane assolutamente immobile e insensibile agli stimoli sensoriali. Questo ha una rilevante importanza durante le emergenze perché rende le vittime di un disastro totalmente incapaci di



muoversi. Nel mondo animale questo atteggiamento porta il soggetto predato a essere disdegnato dal predatore in quanto appare come morto.

La terza e più diffusa reazione di fronte alla paura è l'iperattività, conseguenza della disponibilità di energie finalizzate alla fuga o alla lotta. L'ipotalamo, in seguito alla percezione della paura, lancia nel corpo impulsi che fanno scattare una reazione globale. Avviene l'emissione d'adrenalina, l'accelerazione cardiaca, la redistribuzione vascolare a vantaggio dei muscoli. A questa prima risposta, immediata e breve, ne segue una seconda costituita da scariche ormonali che permettono di assicurare il ricambio energetico necessario al proseguimento delle attività fisiche. Come ogni emozione la paura può provocare effetti contrastanti a seconda degli individui e delle circostanze, a volte persino alterne nella stessa persona: accelerazione rapida delle pulsazioni cardiache o un loro rallentamento, una respirazione troppo rapida o troppo lenta, stitichezza o diarrea, etc. Una reazione estesa alla maggioranza delle persone di fronte alla paura è l'esteriorizzazione della tensione psichica attraverso grida e frenetici movimenti, spesso inconsulti, che costituiscono la prima risposta allo shock. Questa risposta è inevitabile, e compito dell'operatore di protezione civile è incanalarla verso un obiettivo non nocivo, e possibilmente utile, in quel momento, per l'individuo e la collettività. Chi volesse risolvere la reazione incontrollata alla paura con appelli a stare calmi o a non farsi prendere dal panico non solo non avrebbe alcun effetto positivo, ma perderebbe la credibilità datagli dall'essere stato il primo ad aver dato un ordine dopo la percezione della minaccia.



4.9 L'angoscia

L'angoscia è un sentimento di insicurezza globale vissuto come attesa dolorosa di fronte a un pericolo, tanto più temibile quanto meno identificato. Mentre la paura deriva da una situazione nota alla quale si può far fronte, l'angoscia si riferisce ad un pericolo ignoto. Molto genericamente si può dire che mentre il timore, lo spavento ed il terrore appartengono alla sfera della paura, l'inquietudine, l'ansietà e la depressione appartengono a quella dell'angoscia.

I disastri che provocano angoscia sono quelli dove il pericolo o la morte sono viste come qualcosa di sfuggente che può colpire da un momento all'altro, senza la possibilità di visualizzare o percepire la portata della minaccia come ad esempio, in passato le epidemie o più recentemente l'emergenza Chernobyl o la crisi sismica dell'Umbria.

La reazione degli individui sottoposti ad angoscia da disastri è quella di chiudersi in un isolamento carico di depressione, con conseguente accumulo di tensione che sfocerà nell'insorgere di malattie psicosomatiche o esplosioni di violenza collettiva.

In passato, durante le epidemie, il compito d'incanalare queste tensioni spettava alle processioni religiose o all'esecuzione degli untori che davano la possibilità di visualizzare la fonte del male.

Questa esigenza si può riproporre anche nelle emergenze dei nostri giorni quando è necessario uno "sfogo collettivo" che scarichi le tensioni per un pericolo percepito ma non visualizzabile.



4.10 Il panico di massa

L'utilizzo del termine “panico” ha subito diverse modificazioni nel corso degli anni: se all'inizio del secolo scorso si pensava che le persone in situazioni di emergenza perdessero la loro umanità e si trasformassero in animali in preda alla paura, negli anni cinquanta *Quarantelli* [5] ha proposto la concettualizzazione di panico come un comportamento asociale: le persone non si trasformano in animali, bensì cercano di soddisfare i propri bisogni, non prestando interesse a quelli delle altre persone.

Attualmente il concetto di panico di massa è definito come comportamento collettivo in cui le capacità di giudizio e ragionamento sono deteriorate, in cui vi sono emozioni forti di paura e in cui vi è un comportamento, solitamente la fuga, che può risultare in azioni autodistruttive. È un comportamento irrazionale della folla che si verifica quando ogni persona si convince che il suo comportamento immediato può garantirgli la sopravvivenza a scapito di quella degli altri.

In altre parole, mentre la paura e l'angoscia sono comportamenti individuali, il panico è un comportamento collettivo derivante dal fatto che, in assenza di precise informazioni o leadership, l'individuo adegua il proprio comportamento a quello degli altri che gli stanno accanto.

Gli ultimi studi dei fattori psicosociali sul comportamento di evacuazione ha mostrato che le manifestazioni di panico, intese come azioni irrazionali e distruttive e non come ansia od agitazione, sono rare.

Secondo *Mileti e Peek* [8], dell'università del Colorado, affinché si produca il fenomeno di panico è necessario che si verifichino tutte queste condizioni:

1. le persone devono trovarsi in uno spazio confinato, come una sala cinematografica;



2. devono avere la convinzione che se non fuggono in un tempo breve, moriranno;
3. questo spazio confinato deve essere dotato di una o più vie di fuga (per esempio in un sottomarino intrappolato sul fondo di un oceano, le persone possono provare angoscia e paura ma non panico);
4. deve essere chiaro il fatto che non ci sia abbastanza tempo per tutti di scappare.

In conclusione, le persone non sono “isolate” ma intraprendono azioni auto protettive o altruistiche inserite in un contesto socio-ambientale che incoraggia o scoraggia una determinata sequenza comportamentale.

Poiché la combinazione di queste condizioni è rara il panico di massa lo è altrettanto e quando avviene coinvolge solo una piccola minoranza, non è contagioso ed è di breve durata.

Tuttavia nei casi in cui si verifichino condizioni di “panico di massa”, le azioni della folla possono assumere diversi significati, valenze e modalità di espressione, a seconda del contesto sociale nel quale hanno luogo, dimostrando come la minaccia di un danno fisico possa essere collocata in secondo piano rispetto a quella di rottura dei legami sociali con persone significative.

Un altro mito da sfatare è quello relativo all’assenza di altruismo in queste circostanze. Non bisogna dimenticare che gli individui coinvolti nelle situazioni di emergenza, di qualsiasi tipo esse siano, possono essere protagonisti efficaci, possono diventare cooperativi e mostrare capacità di leadership spontanea e si possono attivare sentimenti di solidarietà sociale ed azioni di mutua assistenza come esito di un processo intenzionale di altruismo ad altre persone.

Gli studi hanno poi mostrato che, anche se le uscite di sicurezza sono ben visibili e segnalate, le persone tenderanno sempre ad uscire dalla porta da cui



sono entrati perché in una situazione di emergenza difficilmente ci si indirizza verso luoghi che non si conoscono anche se essi sono quelli più sicuri, in quanto non vogliono usare un'uscita che non conoscono e hanno dubbi su dove li porterà. Anche in uno studio condotto da *Sime* [10] la maggioranza delle persone è fuggita dalla porta principale, quella a loro più familiare, piuttosto che dalla scale di emergenza.

Infine, un altro fattore che tende a far aumentare i tempi di evacuazione e ad aumentare il tasso di ferimento e/o mortalità è l'ambiente in cui si origina il pericolo. Prendiamo il caso di un incendio che si sviluppa all'interno di un teatro o di un cinema. Gli individui coinvolti si trovano a dover fronteggiare la minaccia in un luogo a loro estraneo circondati da persone che non conoscono. Per tale motivo, avvertito il pericolo, cercheranno di scappare quanto prima possibile. Se, invece, l'incendio si sviluppa all'interno delle mura domestiche, c'è una generale tendenza a sottostimare il pericolo e l'attaccamento a persone e/o cose comporta una certa riluttanza da parte degli individui ad evacuare.

La prevalenza è rivolta all'attaccamento rimanendo all'interno della struttura piuttosto che procedere con l'evacuazione. Le ricerche mostrano che in particolare i bambini e gli adolescenti hanno una tendenza più spiccata in quest'ultima situazione all'affiliazione e questo potrebbe spiegare anche il loro alto tasso di ferimenti e morti negli incendi domestici. Negli incendi domestici si possono ritrovare numerose manifestazioni comportamentali di attaccamento a persone o cose nella casa, c'è una generale tendenza a sottostimare il pericolo e una generale riluttanza ad evacuare che genera ritardi nell'allontanamento e una fuga molto meno precipitosa rispetto agli incendi nei luoghi non familiari. *Mawson (2005)* [11] riporta un caso di un incendio in un edificio a Winnipeg in Canada in cui il 44% dei residenti ha interpretato la sirena anti-incendio come un falso allarme, molti hanno reagito andando alla ricerca di una conferma, e anche quando l'esposizione



sensoriale al fuoco e al fumo era elevata, alcuni hanno temporeggiato, altri hanno girovagato nell'edificio, un sesto dopo aver lasciato l'edificio nel fuoco e nelle fiamme è poi rientrato.

Uno studio famoso di *Sime* ha poi messo in evidenza che i legami al gruppo in taluni casi contribuiscono ai tassi di mortalità e ferimento. Ha intervistato 500 sopravvissuti ad un incendio in un grande complesso turistico in Gran Bretagna in cui morirono 50 persone, una situazione abbastanza classica di “intrappolamento” in cui ci si sarebbe aspettato un crollo dell'equilibrio psicologico e manifestazioni di panico. L'autore nota che il 73% delle persone è fuggito con uno o più persone del proprio gruppo (nella maggioranza dei casi la famiglia); tutte le persone decedute in una particolare area della residenza erano insieme al loro gruppo quando sono state allertate ma probabilmente hanno deciso di andare via insieme con un ritardo fatale. Le persone che non avevano legami sociali, d'altro canto, sono state più rapide nella risposta agli stimoli ambigui di pericolo (es. fumo) e nessuno si è ferito.

Questi risultati delle ricerche nelle scienze del comportamento possono essere incorporati nella progettazione dei sistemi di evacuazione. Alcune proposte si potrebbero già avanzare: ad esempio, un allarme vocale che istruisce le persone in un edificio da evacuare sarebbe molto più convincente di una semplice campanella o sirena. Se l'avvertenza fosse poi eseguita da addetti alla sicurezza o da personale di comando, si potrebbe allertare gli occupanti dando informazioni sulla collocazione dell'incendio nell'edificio e raccomandare percorsi di evacuazione più sicuri. Un altro dispositivo utile potrebbero essere un sistema di uscite automatiche: un sistema di allarme potrebbe automaticamente aprire le uscite di emergenza mostrando alle persone le porte sicure da utilizzare.



La spiegazione del sistema di emergenza e le prove di evacuazione per i “nuovi arrivati” è cruciale. Nel WTC, una percentuale considerevole di impiegati non aveva mai utilizzato le scale di emergenza e non aveva idea se fosse in grado di farlo e quanto ci si mettesse. Questi studi hanno forti implicazioni per gli architetti, gli ingegneri e gli amministratori nella costruzione degli edifici e nella definizione dei piani di evacuazione e delle procedure operative standard nelle emergenze.

Sempre più professionisti e studiosi si stanno accorgendo dell’importanza dello studio del comportamento umano negli incendi.

4.11 Le scienze del comportamento al servizio della sicurezza

Un caso per tutti è quello del matematico inglese *Ed Galea*, direttore del gruppo ingegneristico sulla “fire safety” all’università di Greenwich in UK che ha sviluppato un modello di simulazione al computer di propagazione ed evacuazione; lui sostiene che la comprensione delle tipiche azioni umane e delle reazioni emotive, cognitive e interpersonali sia fondamentale. A questo proposito ha chiamato a lavorare nel suo gruppo numerosi scienziati del comportamento ed ha svolto un studio sulla risposta alle sirene antincendio tramite due esperimenti in Inghilterra e in Brasile che prevedono l’analisi delle videoriprese di persone in una biblioteca. L’associazione internazionale che si occupa di questi temi, l’International Association of Fire Safety Science, negli ultimi anni organizza simposi e conferenze specificatamente sul “comportamento umano negli incendi”.



4.11.1 La teoria dell'intrappolamento

La *teoria dell'intrappolamento* si sforza di spiegare la fuga prendendo in considerazione il verificarsi di due fattori scatenanti:

1. che le persone avvertano un pericolo imminente;
2. che le persone credano che le vie di fuga siano limitate o che si stiano rapidamente chiudendo.

Non è necessario che le credenze siano esatte, ma è sufficiente che questa sia la percezione, intrappolamento percepito, per scatenare reazioni volte a garantire la propria sopravvivenza anche a scapito degli altri, con i noti fenomeni del calpestamento, della violenza o del “collo di bottiglia” alle uscite.

Le persone si muovono con una velocità considerevolmente maggiore rispetto al solito e le interazioni divengono estremamente “fisiche”, con il verificarsi del fenomeno del *pushing*, spingere, attraverso il quale il passaggio diviene difficoltoso e sordinato.

4.11.2 Il modello dell'attaccamento sociale

Il modello dell'attaccamento sociale parte dal presupposto che il fatto che il rischio di perdere la propria integrità fisica sia valutato come meno grave o di secondo ordine se paragonato a quello della rottura dei legami affettivi ed affiliativi.

Sembra infatti che spesso, in situazioni di estremo pericolo, si manifestino risposte di unione in cui la ricerca della vicinanza di persone familiari emerge



dallo sfondo e diventa urgente, acquisendo priorità rispetto alla fuga e quindi all'autoconservazione rallentando i tempi di evacuazione.

In conclusione, le persone reagiscono di fronte ad un pericolo come il fuoco in modo diverso ma ci sono caratteristiche personali e condizioni socio - ambientali che incoraggiano o scoraggiano determinate sequenze comportamentali.

La conoscenza del “fattore umano” in queste circostanze può aiutare a migliorare l'azione di soccorso dei vigili del fuoco e garantire la sicurezza di tutti.

Inoltre questa conoscenza risulta fondamentale se si vogliono realizzare modelli simulativi che possano aiutare nella stesura delle procedure di emergenza maggiormente efficienti possibili ma anche aiutare sin dalla progettazione degli edifici. Ne è una conferma l'attenzione che, in misura sempre crescente negli ultimi anni, lo studio del comportamento umano negli incendi ha ricevuto da parte di professionisti e studiosi.

4.12 Il modello di Leach

La teoria di Leach [12], [13] descritta nel suo libro “Disaster Psychology” è molto utile per implementare il fattore umano nello sviluppo dei modelli di evacuazione in quanto tiene conto della “dinamicità” del comportamento durante le varie fasi di una qualsiasi emergenza.



4.12.1 Le fasi del disastro

Secondo Leach in ogni disastro si possono distinguere tre fasi: 1) *before* (prima), 2) *during* (durante) e 3) *after* (dopo) l'impatto. A volte una fase può essere molto breve a volte può impiegare giorni o mesi. Nella Tabella 4.3 sono rappresentati alcuni esempi di durata delle varie fasi.

Tabella 4.3 – Le fasi di Leach

Fase	Breve	Lunga
Before	Incidente stradale (secondi)	Attesa eruzione di un vulcano attivo (mesi)
During	Esplosioni (frazione di secondo)	Inondazione (giorni)
After	A seconda della risposta dell'individuo	A seconda della risposta dell'individuo

Il comportamento umano è specifico per ogni fase. Precisamente:

- 1) Durante le fasi precedenti l'impatto le persone sono consapevoli di ciò che sta per avvenire ma tendono ad ignorare o negare i fatti, cercano in ogni modo di ridurre le sensazioni di disagio/pericolo mostrando un comportamento apatico.
- 2) Una volta che il pericolo si è manifestato le persone iniziano a sentirsi confuse, sconvolte e fuori controllo. Il comportamento inizia ad essere riflessivo e le azioni di tipo meccanico.
- 3) Successivamente nella fase post impatto quando ormai i danni sono ben visibili negli individui iniziano a svilupparsi forti disagi emotivi e comportamenti irrazionali.



Leach, in seguito, ha effettuato anche una distinzione più precisa delle fasi aggiungendone due prima dell'impatto denominate a) *threat* (segno premonitore) e b) *warning* (allarme) e tre subito dopo l'impatto che sono: c) *recoil* (contraccolpo), d) *rescue* (soccorso), e) *post trauma*.

a) Nella fase *threat* iniziano a manifestarsi i primi segnali di pericolo ma questi non sono ancora convincenti al punto tale da allarmare le persone. Il livello dell'acqua sale sempre di più ma non può essere ancora chiamato un'alluvione; i fumi di combustione aumentano sempre di più ma l'incendio vero e proprio non è ancora visibile; il vento è sempre più forte ma non può essere definito un uragano.

b) Durante la seconda fase, il *warning stage*, il disastro è ormai imminente e il pericolo è convincente: il fuoco è visibile, il livello dell'acqua è preoccupante, il vento può essere definito un uragano. L'incidente è inevitabile ed è necessario evacuare.

c) Nello *stage recoil*, la causa diretta della minaccia è svanita o si è conclusa. Il diluvio si è fermato. La tempesta si è calmata, il fuoco si è spento. Nei sopravvissuti però è diffusa la sensazione di non sentirsi ancora completamente sicuri.

d) Durante la quarta fase, la fase di *salvataggio*, i sopravvissuti, chi più chi meno, vengono portati in un luogo sicuro.



Tabella 4. 4 – Fasi del disastro secondo Leach

Fase	Situazione del pericolo	Comportamento
Threat Stage	Segni percepibili del pericolo.	Le persone sottostimano il pericolo e mostrano un comportamento apatico.
Warning Stage	I danni causati dal disastro sono ormai imminenti.	Incertezza e disagio.
Impact Phase	Il pericolo si manifesta in tutta la sua gravità.	Si rimanda al paragrafo successivo.
Recoil Stage	Il pericolo ha provocato danni e feriti. Nella peggiore delle ipotesi possono esserci anche delle vittime.	Rabbia, paura, comportamenti sociali.
Rescue Stage		Confusione, negazione della realtà, ansia, necessità di parlare ed avere altri contatti.
Post Trauma Stage		Possibile sviluppo di disturbi psicologici. Difficoltà di risocializzazione e di reinserimento.

4.12.2 Il comportamento umano secondo Leach

Le situazioni di emergenza non coinvolgono mai un singolo individuo bensì un numero cospicuo di persone ognuna delle quali ha un proprio comportamento specifico. Grazie agli studi ed alle testimonianze dei sopravvissuti, è stato però possibile individuare dei comportamenti eterogenei che si manifestano durante tali situazioni. Leach distingue gli



individui, a seconda della loro risposta nei casi di pericolo, in tre grandi gruppi:

1. Un primo gruppo, che comprende il 10-15 % delle persone, riesce a rimanere relativamente calmo ed a valutare con attenzione la situazione.
2. Un secondo gruppo molto consistente, 75% delle persone, comprende gli individui che rispondono in modo confuso e disorientato. Il loro ragionamento risulta rallentato ed il loro comportamento è guidato da azioni di tipo meccanico.
3. Il terzo gruppo, 10-15 % delle persone, mostra invece dei comportamenti deleteri per la sicurezza propria e delle altre persone coinvolte: pianto, urla, ansia, immobilità (*freezing*).

Ovviamente il maggior numero di feriti e/o vittime appartengono agli ultimi due gruppi. Inoltre una distinzione pre-incidente della risposta delle persone alle situazioni di pericolo è impossibile da effettuare perché in situazioni così “particolari” anche individui solitamente molto razionali e decisi possono comportarsi in modo confuso e disorganizzato.

All'interno dei tre gruppi di tipo generico sopra citati è poi possibile andare a distinguere ben nove comportamenti specifici che sono:

1. *Comportamenti ansiosi*: le persone sono in preda all'ansia, urlano, piangono e diventano incapaci anche di azioni semplici come aprire una porta;
2. *Comportamenti di fuga disorganizzata*: le persone tendono a correre, fuggendo in qualsiasi direzione, anche se non è quella giusta;
3. *Comportamenti di coesione sociale*: le persone si riuniscono fra loro e si “sentono un gruppo” (es., “sulla stessa barca”);



4. *Attaccamento ai beni familiari*: le persone prima di evacuare cercano di recuperare gli oggetti personali che hanno un valore economico ed affettivo;
5. *Comportamenti altruistici*: le persone tendono ad aiutare altre persone in difficoltà, esponendosi loro stessi ad un pericolo vitale;
6. *Comportamenti di “congelamento”*: alcune persone rimangono cognitivamente paralizzate e incapaci a muoversi;
7. *Comportamenti di panico*: si tratta di comportamenti distruttivi, irrazionali e asociali quali il lottare con altre persone.
8. *Disorientamento situazionale*: le persone percepiscono uno stato di incredulità e di astrazione della situazione;
9. *Disorientamento fisiologico*: nella situazione di scarsa visibilità (es., causata dal fumo scaturito dall'incendio) le persone faticano a trovare le vie d'uscita e si intossicano con i gas ispirati.

4.13 Integrazione dei fattori umani nella progettazione della sicurezza antincendio

Molti paesi del mondo hanno già attivato o stanno passando al performance - based: uno degli elementi chiave di tale sistema è la capacità di organizzare soluzioni di sicurezza antincendio idonee al sistema preso in considerazione, invece di applicare semplicemente la tradizionale regolamentazione prescritta e le misure di sicurezza antincendio derivanti. Questo ha reso necessario garantire che l'analisi comprenda, nella sua trattazione dei possibili scenari d'incendio, le caratteristiche e le probabili reazioni degli occupanti gli edifici.



Le differenti capacità psicomotorie degli occupanti, le diverse reazioni psicologiche, in caso di evacuazione d'emergenza, unitamente ad una maggiore o minore conoscenza dell'edificio in cui si trovano, condiziona il fenomeno dell'evacuazione, rendendo necessaria l'attivazione di studi dedicati di pianificazione dell'esodo, che devono analizzare caso per caso, a seconda della struttura e dei suoi occupanti, quali siano le misure più idonee di prevenzione da adottare.

La progettazione dell'emergenza, basata sull'adozione di misure di protezione attiva e passiva coerenti, non può essere quindi in contrasto con le naturali tendenze dell'uomo. È imprescindibile allora tener conto delle diverse tipologie di persone presenti (di diverso sesso, età, condizione fisica e psicologica, cultura) e della loro diversa esposizione al rischio. In funzione di questo variano, infatti, sia le possibilità di formazione – informazione preventiva, sia le condizioni generali da introdurre come dati di input del piano preventivo.

Dal punto di vista tecnico e metodologico l'esigenza di sicurezza antincendio deriva principalmente dal rapporto tra le caratteristiche tipologiche e tecnologiche dell'edificio e le caratteristiche dell'utenza.

La valutazione dei rischi si deve muovere in due direzioni non contrastanti:

- a) *Fire risk analysis*: La valutazione dei rischi d'incendio è usata per stimare o prevedere la vastità dei danni da fuoco, associati ad uno o più specifici scenari di incendio e per determinare fattori come: fonti potenziali di accensione, fonti potenziali di combustibile, etc. Essa conduce alla comprensione di come il fuoco possa crescere e svilupparsi in un particolare edificio;
- b) *Life safety hazard assessment*: La valutazione dei rischi sulla sicurezza della vita porta alla comprensione di come e dove gli occupanti avranno l'impatto con il fuoco e con ciò che da esso ne deriva.



Un approccio che molti progettisti di sistemi di sicurezza hanno è considerare gli occupanti un edificio come “fattori” e non come persone. Uno dei risultati di questo approccio è non considerare come parte delle loro previsioni di rischio d’incendio, né i tempi ed i fattori che le persone si trovano ad affrontare prima dell’evacuazione, né molte reazioni comportamentali e fisiologiche. Il risultato di questo approccio è che possono essere assunti risultati del tipo: tutti gli occupanti sentiranno l’allarme incendio non appena il fire - detector si sarà attivato, tutti gli occupanti cominceranno ad evacuare l’immobile appena udito l’allarme, si muoveranno alla stessa velocità e tutti gli occupanti si metteranno in salvo entro il tempo previsto.

Dovrebbe risultare ben chiaro invece che gli assunti appena citati hanno in sé alcuni difetti, e che un’adeguata considerazione dei fattori umani di reazione è fondamentale per la scelta di adeguate misure salvavita. Un modo per valutare questi problemi è focalizzare l’attenzione sui fattori di reazione umana, utilizzando i mezzi dell’analisi di rischio, adottando una definizione di rischio di vita nella sicurezza antincendio associato ad uno o più scenari specifici dell’incendio in un edificio. Una simile definizione non sposta l’attenzione del progettista dalla prevenzione dell’incendio e dal suo sviluppo, ma può meglio indirizzare la loro attenzione sui modi in cui il fuoco colpisce le persone e su quali comportamenti si prevede la gente realisticamente tenga durante un incendio. Un altro importante fattore da analizzare è la differente esposizione al rischio tra gli occupanti (es. bambini, adulti e anziani, abili e disabili), differenze di cui bisogna tener conto nelle stime di rischio (variabili inter-individuali).

Dall’analisi di diversi apporti scientifici emerge ancora come una valutazione dei rischi così integrata richiede una serie di operazioni consequenziali, costituite principalmente da:



- identificazione e caratterizzazione di tutti i fattori che costituiscono potenziale pericolo;
- individuazione delle persone che risultano esposte ai rischi identificati, al fine di definire l'esistenza di un reale pericolo ai rischi stessi;
- stima del livello di rischio residuo;
- individuazione delle misure da attuare;
- definizione di un programma di attuazione delle misure secondo un ordine di priorità correlato all'entità del rischio;
- attuazione del programma definito;
- valutazione ed aggiornamento periodico del programma.

Un passo importante per un'analisi di questo tipo è, inoltre, stabilire un livello accettabile di sicurezza: per questo risulta necessario definire delle condizioni limite relative ai rischi d'incendio ed ai rischi nei confronti degli occupanti. È importante che questa definizione sia la più realistica possibile.

4.14 Il futuro accademico e professionale delle ricerche sul comportamento umano in caso di incendio

Il futuro della ricerca sul comportamento umano in caso di incendio è molto più promettente oggi di quanto lo sia mai stato in passato, a seguito dell'accettazione di determinare tempi validi di evacuazione nella progettazione di costruzioni seguendo il concetto del “performance - based”. Questo ha portato a una crescente applicazione dei modelli di evacuazione con la necessità di rendere chiaro ai possibili fruitori le diverse limitazioni dei modelli, in particolare quelle relative al comportamento umano non simulato delle persone e ricordando sempre l'origine dei modelli, l'utilizzo iniziale per il quale ogni singolo modello è stato omologato. I progettisti dovrebbero



fornire una lista dettagliata ed una descrizione degli studi e delle procedure di validazione ai quali il modello è stato sottoposto. L'ottimizzazione e sviluppo dei modelli di simulazione di evacuazione che prendono in considerazione il comportamento dell'uomo, dovrà considerare come variabili i seguenti punti:

1. condizioni fisiche e psicologiche della persona da sfollare;
2. numero delle persone da sfollare;
3. numero e stato delle vie di esodo (che cambia istante per istante);
4. propagazione dell'incendio e del fumo;
5. possibilità di comunicare con le persone che sfollano (allo scopo di fornire informazioni sull'evolversi della situazione, dare indicazioni per il migliore svolgimento dello sfollamento, etc.);
6. numero e tipo di protezioni attive e passive che si utilizzano nell'edificio stabilito.

Per la necessaria convalida, i risultati ottenuti vengono confrontati con quelli ottenuti in caso di sinistri o nel corso di esercitazioni.

L'aumentata applicazione di computer models negli studi sul comportamento umano in caso di incendio, associata ad una nuova filosofia di progettazione, richiede che tutti i ricercatori che si occupano di comportamento umano in caso di incendio debbano mantenere i più alti standard di integrità e responsabilità professionale.

4.15 Una proposta per una futura strategia internazionale

L'interazione tra modalità di innesco e sviluppo del fuoco, la progettazione civile, l'impiego di strumenti, il comportamento dell'uomo e la lotta all'incendio danno luogo a numerosi scenari possibili. È questa la sfida per



un approccio costruttivo, flessibile, ma chiaro e formalizzato della progettazione antincendio che deve poter essere valutato facilmente dalle autorità competenti.

Prescindendo dai tipi di strumenti utilizzati per la progettazione, in un progetto completo ed esauriente si dovrà sempre:

1. definire gli obiettivi di sicurezza antincendio e mettere in opera adeguati criteri di accettazione;
2. qualificare e caratterizzare gli strumenti e i suoi contenuti;
3. eseguire un'analisi di rischio d'incendio, riportante i criteri adottati per la sua definizione, contenente l'identificazione di rischi potenziali e loro possibili conseguenze;
4. individuare le misure di prevenzione e protezione (fra cui anche le misure in caso di evacuazione di emergenza e quindi la progettazione delle vie di esodo) attuate e quelle da attuare in conseguenza della valutazione dei rischi [14].

4.16 L'errore umano

4.16.1 Introduzione

Una delle cause più diffuse e probabili dello scoppio di un incendio è l'errore umano. Gli incendi causati dall'**errore umano** spesso dipendono da una **scorretta manipolazione** di sostanze infiammabili o dalla cattiva conservazione delle stesse. Altri errori umani possono riguardare l'inosservanza del divieto di fumare o nel mancato utilizzo del posacenere, nell'utilizzo improprio di stufe e fornelli elettrici o di apparecchi e alimentatori elettrici in condizioni non ottimali. Altro ancora può dipendere



dalla mancata rimozione di materiale combustibile, lasciato nel luogo di lavoro come la carta, la plastica, etc. È bene dunque fornire qualche cenno sull'errore umano.

Negli ultimi anni, l'evoluzione tecnologica ha portato ad un decremento di incidenti dovuti a guasti di natura tecnica grazie a ridondanze e protezioni, che hanno reso i sistemi sempre più affidabili. Tuttavia non è possibile parlare di affidabilità di un sistema senza portare in conto il tasso di guasto di tutti i suoi componenti e tra questi il componente “uomo”, il cui tasso di guasto/errore va a modificare i tassi di guasto dei componenti con i quali può interagire. Questo ha reso evidente, sia a livello statistico sia in termini di gravità delle conseguenze, il contributo del fattore umano nelle dinamiche degli incidenti. Le stime concordano nell'attribuire agli errori commessi dall'uomo la responsabilità nel 60-80% degli incidenti e solo per la restante parte le cause sono imputabili a carenze tecniche.

Pertanto, al fine di assicurare un'efficace prevenzione degli eventi dannosi, il processo di valutazione dei rischi non può ignorare il ruolo dell'uomo nella dinamica degli eventi incidentali e quindi la gravità delle conseguenze derivabili.

4.16.2 L'errore

Ufficialmente, un errore avviene “quando una sequenza pianificata di attività mentali o fisiche non raggiunge i risultati attesi, senza che ciò sia attribuibile al caso”.

La grande maggioranza degli errori dunque è strettamente legata ad un'azione deliberata. In altre parole, gli incidenti causati da errore umano sono spesso eventi accuratamente pianificati: è solo che i risultati sono molto

diversi da quelli previsti. Molto spesso per identificare un errore si utilizza il termine “errore del pilota”, ma questo non è sempre corretto.

Esso infatti non fa che indicare quale sia stato l’anello finale della catena che ha ceduto.

In ogni attività umana l’errore e la possibilità di un incidente non sono eliminabili; nasce dunque la necessità di conoscerlo per difendersi da suoi potenziali effetti dannosi.

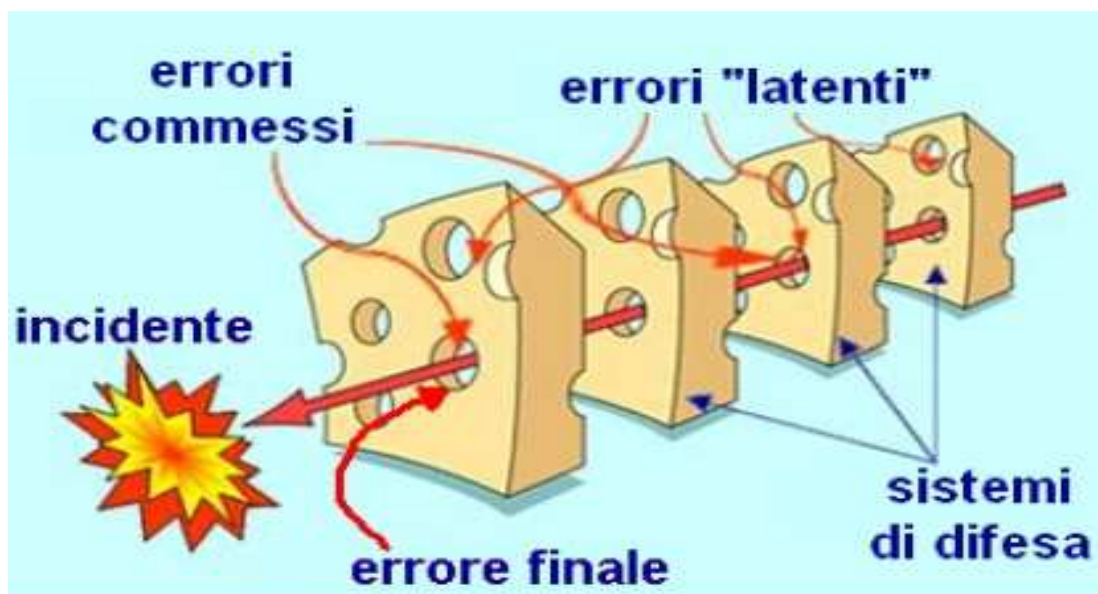


Figura 4. 5 – L’errore

Un errore può nascere per svariati motivi, tra cui:

- ✓ Fare le cose a memoria;
- ✓ Fare più cose contemporaneamente;
- ✓ Subire distrazioni o interruzioni;
- ✓ Subire la pressione del tempo;
- ✓ Gravarsi di troppi compiti;



- ✓ Dividere l'attenzione in modo inadeguato;
- ✓ Sbagliare l'assegnazione delle priorità;
- ✓ Non possedere risorse adeguate;
- ✓ Esaurire le risorse.

Un importantissimo prodotto della coscienza della situazione è la capacità di interpretare i segnali e le informazioni esterne per riconoscere in anticipo un problema che richieda intervento o decisione. Troppo spesso infatti, l'incidente è la conseguenza di una tardiva correzione da parte del lavoratore, che non aveva percepito in tempo il pericolo. È ormai noto che la maggior parte degli incidenti scaturisce da una serie di decisioni sbagliate, ognuna delle quali non fa che aumentare la probabilità di sbagliare ancora, in quanto ciascun errore aumenta il carico di lavoro di chi è costretto a porvi rimedio, fino alla crisi del sistema.

Per quanto riguarda l'atteggiamento di fronte all'errore, la divisione fondamentale si fa tra due modi di considerare l'errore e le sue conseguenze:

- 1) L'approccio individuale, il quale considera l'errore come prodotto di comportamenti umani negligenti, che vanno sanzionati affinché i responsabili non ripetano i loro sbagli e aumentino l'attenzione per timore di conseguenze;
- 2) L'approccio sistemico, il quale accetta come dato di fatto la fallibilità umana, e lavora alla creazione di un ambiente (culturale, tecnico e organizzativo) meno vulnerabile all'errore e più sicuro.

È evidente come quest'ultimo sia più desiderabile. In quest'ottica, è importante adottare la cosiddetta “cultura dell'errore”, la quale vede l'errore come opportunità di migliorare sé stessi e il sistema.

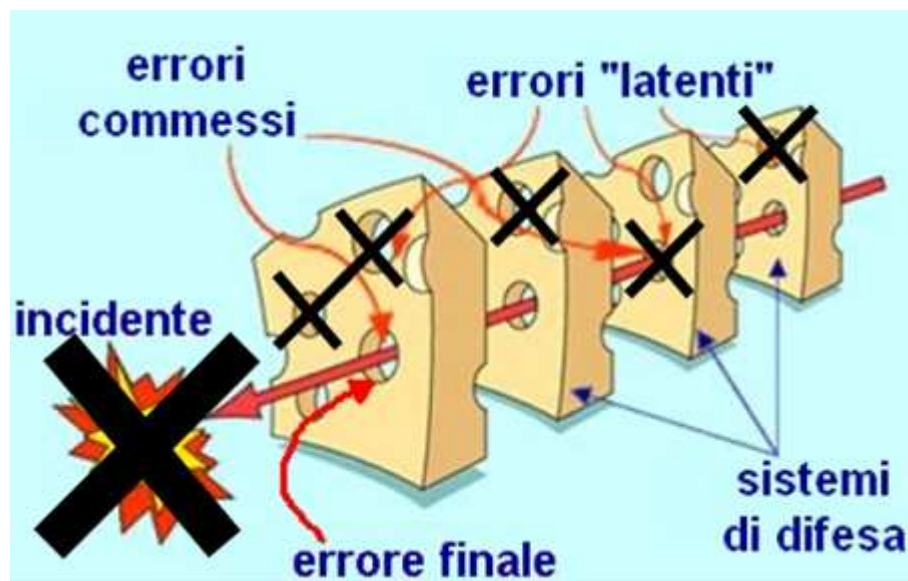


Figura 4. 6 – *La cultura dell'errore*

In linea generale esiste di fatto una sostanziale tendenza a coprire gli errori, per paura di subire conseguenze o anche soltanto di compromettere la propria reputazione. Eppure, la necessità e l'importanza di conoscere gli errori e le loro cause per non ripeterli in futuro è lampante: possiamo combattere solo un nemico che conosciamo!

Un modo utile di identificare e correggere situazioni a rischio è quello di analizzare gli “errori sfiorati”, quelli cioè che non hanno dato origine ad un incidente per il contemporaneo verificarsi di coincidenze favorevoli.

4.16.3 L'affidabilità umana

Lo studio dell'affidabilità umana consiste nello studio di quei fattori interni ed esterni all'uomo che influenzano l'efficienza e l'affidabilità della *performance* del lavoratore; i primi sono tutti gli eventi casuali tecnici o sistemici (dovuti all'ambiente: attrezzature di lavoro, materiali utilizzati,



luogo di lavoro, organizzazione del lavoro), che influenzano e alterano le condizioni di lavoro inducendo gli operatori in comportamenti erranei; i secondi, più difficili da prevedere poiché legati a caratteristiche individuali, sono correlati alle condizioni psico-fisiche che, per loro natura, non si prestano ad essere strutturati in modelli di comportamento sistemico [15]. Appare dunque chiaro quanto complesso sia lo sforzo compiuto in letteratura di proporre modelli di comportamento umano che favoriscano valori numerici di probabilità di errore al fine di prevedere e prevenire comportamenti non sicuri.

L'analisi dei fattori umani costituisce ad oggi un settore di studio fortemente interdisciplinare e non ancora ben definito, per cui non esiste una tassonomia completa ed universalmente accettata dei diversi tipi di errore umano e delle cause che li determinano. Una delle prime rappresentazioni strutturate del comportamento umano si basa su assunzioni e principi teorici della psicologia cognitiva che riconosce il processo cognitivo come dominio sul quale sono definiti gli errori umani. Tale modello è quello basato sul paradigma *information processing system* (IPS) che si riferisce alle funzioni cognitive e comportamentali fondamentali: percezione, interpretazione, pianificazione e azione.

Il modello di riferimento più utilizzato da coloro i quali si occupano di affidabilità umana è lo *skill-ruleknowledge* (SRK) postulato da *Rasmussen* [19] che, insieme alla tassonomia di errori associata, è una rappresentazione specifica del paradigma IPS. Rasmussen propone una classificazione del comportamento dell'uomo in tre diverse tipologie:

1. *Skill-based behaviour*: comportamento di *routine* basato su abilità apprese. L'impegno cognitivo richiesto è bassissimo ed il ragionamento è inconsapevole, ovvero l'azione dell'operatore in risposta ad un *input* è svolta in maniera pressoché automatica;

2. *Rule-based behaviour*: comportamento guidato da regole di cui l'operatore dispone per eseguire compiti noti, si tratta di riconoscere la situazione ed applicare la procedura appropriata per l'esecuzione del compito. L'impegno cognitivo è più elevato poiché implica un certo livello di ragionamento noto;
3. *Knowledge-based behaviour*: comportamento finalizzato alla risoluzione di problemi in presenza di situazioni non abitudinarie e conosciute, ma nuove o impreviste, per le quali non si hanno delle regole o procedure specifiche di riferimento. Questo tipo di comportamento è definito *knowledge-based* proprio poiché richiede un elevato impegno cognitivo nella ricerca di una soluzione efficace.

La classificazione di Rasmussen può essere semplificata secondo lo schema di Figura 4.7.

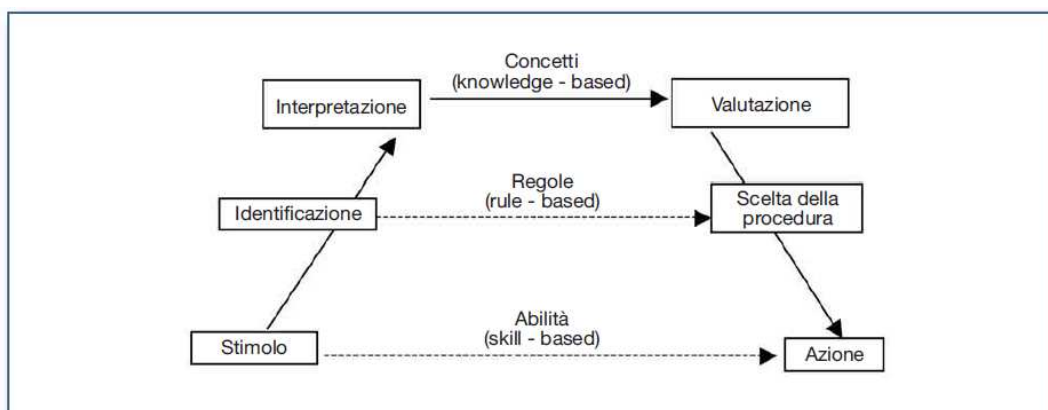


Figura 4. 7 - Modello a gradini

Ogni azione dell'operatore è preceduta da una serie di processi cognitivi che si svolgono secondo una struttura a livelli, ciascuno dei quali contiene funzioni cognitive diverse. La sequenza non è quasi mai né lineare né completa, ma si dispone secondo una scala dove, talvolta, si salta orizzontalmente per evitare gli scalini più alti e faticosi.



Il processo cognitivo che porta dallo stimolo all'azione infatti prevede tre differenti percorsi di complessità crescente che richiedono quantità di attenzione e di risorse cognitive via via maggiori. Alla base dello schema è collocato un comportamento *skill-based* secondo il quale l'operatore, stimolato da un fatto (*input*: segnale, rumore, etc.) reagisce quasi istantaneamente eseguendo un'azione legata ad una procedura ben interiorizzata. A livello intermedio, si colloca un tipo di comportamento *rule-based* per cui l'operatore, sulla base delle informazioni ricevute ed eventualmente a valle di un comportamento *skill-based*, ordina una serie di azioni mediante l'uso di procedure e le esegue. A livello più elevato, si trova il tipo di comportamento *knowledge-based*, in cui l'operatore è chiamato a fare uso in modo creativo ed autonomo (cioè senza l'uso di procedure o di comportamenti istintivi) delle informazioni disponibili e delle sue conoscenze, al fine di produrre le valutazioni e le decisioni a cui conseguiranno le azioni opportune.

Sulla base del modello proposto da Rasmussen, sono state individuate tre diverse tipologie di errore:

- ✓ *Slips*: errori di esecuzione che si verificano a livello di abilità. In questa categoria vengono classificate tutte quelle azioni eseguite in modo diverso da come pianificato, cioè l'operatore sa come dovrebbe eseguire un compito, ma non lo fa, oppure inavvertitamente lo esegue in maniera non corretta;
- ✓ *Lapses*: errori di esecuzione provocati da un fallimento della memoria. In questo caso l'azione ha un risultato diverso da quello atteso a causa di un fallimento della memoria. A differenza degli *slips*, i *lapses* non sono direttamente osservabili;
- ✓ *Mistakes*: errori non commessi durante l'esecuzione pratica dell'azione. In questo caso è il piano stesso a non essere valido,



nonostante le azioni si realizzano come sono state pianificate. Possono essere di due tipi: *rule-based* e *knowledge-based*:

- *Rule-based mistakes*: errori dovuti alla scelta della regola sbagliata a causa di una errata percezione della situazione oppure nel caso di uno sbaglio nell'applicazione di una regola;
- *Knowledge-based mistakes*: errori dovuti alla mancanza di conoscenze o alla loro scorretta applicazione.

Il risultato negativo dell'azione risiede nelle conoscenze erronee che l'hanno determinata. Tale tipologia di errore è insita nella razionalità limitata o comunque nella difficoltà di dare risposte a problemi che presentano un'ampia gamma di possibili scelte.



BIBLIOGRAFIA CAPITOLO IV

- [1] Samuele Domeniconi, *Implementazione di un modello simulativo per l'evacuazione di edifici in caso di emergenza*, 2009.
- [2] Pierantoni, P., *Il comportamento umano negli incendi*.
- [3] Prolux, *Analysis of published accounts of the World Trade Center disaster*, 2005.
- [4] Dyregrov, S. B. (2000). *Mental mobilization in critical incident stress situations*, International Journal of Emergency Mental Health, 2, 73-81.
- [5] Quarantelli E (1957), *The behavior of panic participants*. *Sociology and Social Research*, 41: 187-194.
- [6] Mileti, D. e. (2005). *The social construction of safety*.
- [7] Mileti, D. e. (2005). *The social construction of safety: considering the importance of communicating risk information*.
- [8] Mileti, D. S. e Peek L. (2005) “*The social construction of safety: considering the importance of communicating risk information*”.
- [9] Earthquake Disasters, a cura di E. Rovai and C. M. Rodrigue. New York: Routledge.
- [10] Sime J.D. (1985) “*Movement towards the familiar: person and place affiliation in a fire entrapment setting*”. *Environment and Behavior*, 17, 697-724.
- [11] Mawson A.R. (2005). “*Understanding mass panic and other collective response to threat and disaster*”. *Psychiatry, interpersonal and biological processes*, 68, 95-113.
- [12] Leach J. (2004), *Why people “freeze” in a emergency: temporal and cognitive constraints on survival responses*. “*Aviation, Space and Environmental Medicine*”, 75, 539-542.
- [13] Leach J. (2005), *Cognitive paralysis in a emergency: the role of the supervisory attentional system*, “*Aviation, Space and Environmental Medicine*”, 76, 134-136.
- [14] Luigi Coppola, *Il comportamento umano in caso di incendio*, 1999.
- [15] Marianna Madonna, Giancarlo Martella, Luigi Monica, Elisa Pichini Maini, Laura Tomassini, *Il Fattore Umano nella Valutazione dei Rischi: Confronto Metodologico fra le Tecniche per l'analisi dell'affidabilità Umana*.
- [16] Reason J. L'errore umano. Bologna: Il Mulino; 1994, (Sistemi intelligenti; vol 9).
- [17] Mantovani G. Ergonomia - Lavoro, sicurezza e nuove tecnologie. Bologna: Il Mulino; 2000.
- [18] Neisser U. Cognitive Psychology. New York: Appleton Century Crofts; 1967.
- [19] Rasmussen J. Information processing and human-machine interaction: An approach to cognitive engineering. Wiley; 1986.
- [20] Vestrucci P. Modelli per la valutazione dell'affidabilità umana. Milano: Franco Angeli; 1990.
- [21] A.R., M. (n.d.). *Understanding mass panic and other collective response to threat and disaster. Psychiatry, interpersonal and biological processes*, 68, 95-113.
- [22] Bryab, J. L. (2002). *Behavioral Response to Fire and Smoke. The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*, 3.315 - 3.379.
- [23] Fruin, J. (1971, ristampa 1987). *Service Pedestrian Planning and Design. MAUDEP*.
- [24] Galea, E. (2009). *Human Behaviour in fire. Conference Proceedings*.
- [25] Humbo Li, W. T. (2004). *Behaviour Based Motion Simulation for Fire Evacuation Procedures. Theory and Practice of Computer Graphics*, 112-118.
- [26] J.D., S. (1985). “*Movement towards the familiar: person and place affiliation in a fire entrapment setting. Environment and Behavior*, 17, 697-724.
- [27] Padoan, F. (2006). *Il panico di massa e i comportamenti collettivi di fronte alla minaccia*.
- [28] Predtechenskii, V. e. (1978). *Planning for Foot Traffic Flow in Buildings. National Bureau of Standards*.
- [29] R. Machado Tavares, E. G. (n.d.). *Evacuation modelling analysis within the operational research context: A combined approach for improving enclosure designs*.
- [30] Rodrigue, E. R. (2005). *Earthquake Disasters*.
- [31] S. Gwynne, E. G. *The Collection and Analysis of Pre-evacuation Times Derived from Evacuation Trials and Their Application to Evacuation Modelling*.
- [32] Schroeder, G. T. (1992). *Modeling human behavior in aircraft evacuations*.
- [33] Clerico M., Coppola L., Gecchele G., *Non Conventional Evaluation of Escape Behaviour Factors and Design Parameters in Fire Buildings Evacuation*.
- [34] R. F. Fahy, *A Practical Example of an Evacuation Model for Complex Spaces*.
- [35] Meacham B. J., *Integrating Human Factors Issues into Engineered Fire Safety Design*.



- [36] H . Notake, M. Ebihara, Y. Yashiro, *Assessment of Legibility of Egress Route in a Building from the Viwpoint of Evacuation Behaviour.*
- [37] F. Ozel, *The Role of Time Pressure and Stress on the Decision Process During Fire Emergency.*
- [38] T. J. Shields, B. Smyth, K.E. Boyce, G.W. H . Silcock, *Evacuation Behavviours of Occupants with Learning Difficulties in Residential Homes.*
- [39] N . Townsend, *Real Fire Research - People 's Behaviour in Fires.*
- [40] L .Zhao, *A Methodology of Calculating the Risk to People in Building Fires.*

SITOGRAFIA CAPITOLO IV

- {1} www.sciencedirect.com
- {2} www.scholar.google.it
- {3} www.biblio.unina.it
- {4} www.springerlink.com
- {5} www.sirelib.unina.it
- {6} www.ieee.org
- {7} www.elsevier.com
- {8} www.jstor.org



CAPITOLO V

AGENT BASED MODELING AND SIMULATION

Premessa

Nella valutazione della validità e dell'efficacia di una determinata soluzione progettuale riveste un ruolo importante la capacità di prevedere l'evoluzione del sistema complessivo risultante durante una potenziale situazione d'emergenza, come può essere l'evacuazione in caso di incendio.

In tale ambito, la simulazione ad agenti risulta essere uno dei migliori strumenti da utilizzare per modellare la realtà considerata.

In tal senso, in questo capitolo si forniranno dapprima dei cenni sulla simulazione in generale; successivamente si realizzerà una panoramica sull'Agent Based Modeling and Simulation e sulle metodologie di modellizzazione attualmente presenti ed implementate da parte degli studiosi; infine si descriverà l'algoritmo maggiormente utilizzato per realizzare un modello simulativo antincendio .

5.1 La simulazione

I sistemi reali, definiti come insiemi di entità interagenti, sono caratterizzati da elevata complessità, dinamicità e casualità; ciò rende difficoltosa la comprensione del loro comportamento e la loro organizzazione e gestione. La simulazione è un importante strumento che offre l'opportunità di vedere funzionare un sistema in un computer. Con il termine “*simulazione*” s'intendono quelle tecniche che con l'ausilio del calcolatore “imitano”, ovvero simulano il comportamento di un sistema. Il problema della progettazione di sistemi complessi, integrati e caratterizzati da una natura tipicamente dinamica e stocastica risulta infatti difficilmente affrontabile senza il ricorso a metodologie di simulazione.

In particolare, i modelli di simulazione consentono di valutare a priori le prestazioni ottenibili dal sistema considerato prima ancora di procedere alla sua realizzazione o modifica. In questo modo è possibile prevedere il comportamento del sistema al variare di condizioni e parametri, valutare tutti gli indicatori di performance tecnici, trovare le soluzioni più opportune, riducendo i costi di investimento e di esercizio e limitando i rischi.

Se per le scienze della natura gran parte delle teorie sono sempre state paragonate ai fatti per trovare una conferma o una smentita, ciò non è mai avvenuto per le scienze dell'uomo (l'economia, la sociologia, la storia, l'antropologia, la psicologia, etc.). In queste scienze è sempre stato impraticabile realizzare una relazione tra teorie e fatti osservati; difficilmente le teorie sono state formulate in termini quantitativi e raramente è stato possibile adottare il metodo empirico. Gli scienziati non sono mai stati in grado di fornire stime o previsioni precise dei fenomeni studiati nelle scienze umane (si pensi all'economia), anzi frequentemente hanno sbagliato completamente, prevedendo risultati del tutto errati.



Nelle scienze dell'uomo vengono raccolti e descritti una grande quantità e varietà di fatti ma purtroppo non c'è, nella maggior parte dei casi, un collegamento tra teorie e fatti che caratterizza la scienza in generale e le scienze della natura in particolare. Questo è uno dei principali motivi per cui le scienze dell'uomo fanno pochi progressi e non riescono a raggiungere e ad accumulare nel tempo una vera conoscenza e comprensione della realtà. Vengono elaborate e discusse tante teorie, ma raramente vengono poste a una vera e propria verifica sperimentale; non sono sostenute o criticate con fatti osservati. Di questa differenza tra le scienze dell'uomo e le scienze della natura occorre tener conto perché, proprio per la loro arretratezza, le scienze dell'uomo hanno più bisogno delle simulazioni.

5.1.1 Benefici della simulazione

La simulazione può essere considerata il terzo strumento della scienza, che si è aggiunto di recente, con l'avvento dei computer, ai due strumenti di ricerca tradizionali: le teorie e gli esperimenti di laboratorio. Adottare il metodo della simulazione significa tradurre una teoria in un programma per il computer, farlo eseguire al computer e verificare se la simulazione riproduce i fenomeni che la teoria intende spiegare. Le simulazioni offrono una serie di vantaggi per la ricerca scientifica e questo spiega perché stanno diventando uno strumento sempre più usato in tutte le discipline.

Un primo vantaggio è che esprimere una teoria da tradurre in un programma per il computer costringe a formularla in modi necessariamente chiari, espliciti, univoci, senza lacune e contraddizioni nascoste, altrimenti non potrebbe essere tradotta in un software.



Questo è un vantaggio importante per quelle discipline, come le scienze dell'uomo (cognitive, sociali e storiche), che spesso non riescono a formulare le loro teorie in modo chiaro, esplicito e univoco. I concetti teorici delle scienze dell'uomo non sono in genere concetti quantitativi, matematici, i quali sono per definizione chiari, espliciti e univoci; inoltre non si connettono in modo diretto con la realtà osservabile.

Un altro beneficio derivante dall'uso delle simulazioni è che esse permettono di studiare qualsiasi fenomeno, a differenza di un laboratorio dove è possibile studiarne solo alcuni e in condizioni così artificiali che, per certe discipline, l'utilità degli esperimenti di laboratorio è inevitabilmente limitata o del tutto assente. In numerose scienze naturali le teorie formulate possono essere verificate direttamente con metodi empirici, per controllare la correttezza delle loro ipotesi; gli esperimenti di questo tipo permettono di capire quali sono i fattori che danno origine a determinati fenomeni e di modificarne alcuni aspetti e caratteristiche per osservare le conseguenze che si ripercuotono sul sistema. Tutto ciò è valido se lo studio è limitato a situazioni e sistemi semplici; nel caso però di fenomeni che danno origine a sistemi complessi il metodo di verifica sperimentale può non essere praticabile o comunque diventare eccessivamente costoso.

La possibilità di verificare le teorie e fare previsioni è del tutto preclusa per le scienze sociali; infatti, diversamente da quanto accade per le scienze naturali, non esiste nessun concetto di laboratorio e quindi è impossibile mettere in pratica idee e teorie. In alcuni casi eseguire test in laboratorio sarebbe eccessivamente costoso e complicato come ad esempio per i progetti aerospaziali, in altri l'inconveniente sarebbe il tempo perché la verifica ottenuta partendo da un'implementazione sperimentale richiederebbe tempi di attesa troppo lunghi.



In tutti i casi elencati, sarebbe auspicabile avere più che un laboratorio “fisico” uno “virtuale”, dove fosse possibile studiare questi sistemi non direttamente sperimentabili in modo economico e veloce; da qui è nata l’importanza della simulazione che è un potente mezzo per la comprensione e lo studio di realtà non riproducibili e rappresenta per i ricercatori uno strumento decisamente più completo rispetto al laboratorio.

La simulazione consente inoltre di elaborare modelli che mirano ad ottenere particolari risposte, ad esempio conoscere quali saranno le conseguenze originate da un particolare insieme di fattori; per esempio, grazie a questo metodo, gli studiosi delle scienze sociali possono valutare gli effetti originati da particolari provvedimenti economici o sociali prima della loro applicazione nella realtà. Si tratta della tipica domanda “what if” a cui è possibile dare risposta modificando alcuni parametri e/o caratteristiche del modello.

Il metodo della simulazione differisce dai metodi tradizionali della ricerca scientifica perché non ha il solo intento di descrivere o spiegare i fenomeni della realtà, ma cerca di ricrearli; inoltre consente di formulare le proprie teorie e ipotesi sotto forma di progetti per la costruzione di sistemi artificiali.

Una simulazione può essere utilizzata come un laboratorio in cui controllare variabili e manipolare il loro valore osservando gli effetti di queste operazioni, come avviene nelle reali prove sperimentali e che ne spiega il grande valore per la scienza. In laboratorio lo scienziato non si limita a osservare la realtà empirica, ad aspettare che avvengano i fenomeni cruciali che possono dirgli se le sue teorie sono corrette o sbagliate; per mezzo di una simulazione lo scienziato, come se fosse in laboratorio, interroga la realtà, pone le domande per decidere se una teoria è corretta o sbagliata e ottiene risposte. Se una simulazione riesce a riprodurre i fenomeni osservati nella realtà, la teoria che sta a monte può essere confermata; se non ci riesce, il



ricercatore può aggiungere, togliere e modificare parametri o può modificare in altri modi la teoria fino a che non viene raggiunta una corrispondenza soddisfacente; tutto questo sostenendo costi quasi nulli.

Le simulazioni possono essere utilizzate anche per elaborare teorie, per esplorarne e valutarne le caratteristiche e le implicazioni quando sono ancora nella fase di costruzione. In particolare diventa possibile sviluppare il metodo degli esperimenti mentali, un metodo di ricerca che viene usato, ma solo marginalmente e implicitamente, nella scienza. Le simulazioni si possono anche definire, come delle “macchine” per automatizzare gli esperimenti mentali. Le simulazioni sono uno strumento per conoscere e capire la realtà; usarle come metodo di ricerca ha delle conseguenze sul modo di concepire e di studiare la realtà. Adottando le simulazioni come strumento di ricerca, risulterà naturale vedere la realtà non costituita soprattutto da sistemi semplici, ma principalmente da sistemi complessi. La scienza fino ad oggi si è occupata quasi esclusivamente di sistemi semplici poiché essi si prestano meglio ad essere studiati con gli strumenti tradizionali, ma la realtà è costituita soprattutto di sistemi complessi; dunque si presenta il problema di dotarsi degli strumenti idonei, che, ovviamente, non possono più essere quelli tradizionali e la simulazione è uno di questi, anzi, ad oggi, è probabilmente il più importante.

Le simulazioni compiono una sintesi della realtà, cioè partendo dai singoli componenti cercano di esaminare cosa emerge quando questi vengono messi insieme e fatti interagire. In altre parole le simulazioni si basano sull’assunzione che la realtà non può essere conosciuta solo analizzando i suoi componenti, ma è necessario ricrearla a partire da questi componenti.

Un’altra peculiarità che scaturisce dall’uso delle simulazioni deriva dal fatto che possono essere considerate come un linguaggio comune parlato da qualunque disciplina.



L'eccessiva frammentazione disciplinare può essere un problema per la scienza e risultare un ostacolo per la ricerca. Infatti, in una scienza divisa in tante discipline si può presentare la difficoltà a studiare fenomeni estesi e, magari, collegati ad altri fenomeni non tutti appartenenti alla stessa disciplina.

5.1.2 Critiche alle simulazioni

Pur presentando problemi e limitazioni la maggior parte delle critiche rivolte alle simulazioni sono dovute per lo più ad una mancata comprensione e non ai veri e propri limiti che le contraddistinguono.

Una fra le critiche più ricorrenti è che esse sono una semplificazione della realtà che è estremamente complessa e quindi risultano uno strumento troppo semplice per poterla spiegare; addirittura a volte le simulazioni vengono prese come dei giochi, divertenti, ma incapaci di essere un elemento utile per aiutare a comprendere la realtà. Tale critica è sicuramente eccessiva in quanto le simulazioni sono innanzitutto la traduzione di una teoria in programma per computer, e tutte le teorie, per assolvere al loro compito, cioè quello di far comprendere i fenomeni, sono semplificate rispetto alla realtà; permettono così di cogliere l'essenza dei fenomeni, liberandoli dalla complessità e dalla varietà. Semmai è necessario capire se le semplificazioni sono orientate nella giusta direzione e se non sono stati tralasciati degli elementi fondamentali per esplicitare l'essenza del fenomeno che viene studiato. È corretto che una simulazione semplifichi la realtà purché la semplifichi nel modo giusto.

Inoltre è importante sottolineare che, mentre le teorie ed il metodo della sperimentazione tradizionali rimarranno sempre semplificazioni della realtà, le simulazioni, con l'innovazione tecnologica e con lo sviluppo delle tecniche



simulative, diventeranno sempre più sofisticate ed elaborate, rendendo così la rappresentazione dei fenomeni che studiano, sempre più vicina alla realtà.

Un'altra critica che viene rivolta è che le simulazioni non direbbero nulla di nuovo rispetto a quanto già conosciuto della realtà sotto studio; viene quindi spontaneo affermare che se nulla di nuovo viene detto, è inutile utilizzarle, poiché sarebbero solo uno spreco di tempo. Questo è facilmente obiettabile affermando che spesso la simulazione non restituisce quanto aspettato ma fa emergere dei fenomeni che differiscono da quelli usati come base di partenza. Inoltre il fatto che una simulazione riproduca risultati identici alla realtà, deve essere percepito come una conferma della bontà della teoria che sta alla base della simulazione stessa.

Un'ulteriore argomentazione da parte dei critici è che attraverso le simulazioni viene riprodotta una realtà che abitualmente è poco conosciuta e quindi inutile da riprodurre, poiché il risultato sarebbe privo di significato scientifico, a causa della sua incompletezza e penuria di particolari. Se fosse realmente così e se fosse necessario aspettare di conoscere perfettamente la realtà prima di poterla simulare, è difficile capire a cosa potrebbero servire le simulazioni; nel senso, a cosa servirebbe studiare un argomento se è già conosciuta ogni particolarità del suo funzionamento. La simulazione serve proprio quando qualcosa non è conosciuto a fondo e lo studio effettuato non è sufficiente per poterne comprendere l'essenza.

Ciò porta a due conseguenze: in primo luogo, la simulazione è una teoria ed in quanto tale è utile per andare al di là di un semplice insieme di fatti e per poter comprendere perché tali fatti si verifichino (compito delle teorie in generale e quindi anche delle simulazioni); in secondo luogo le simulazioni possono servire per la scoperta di altri fenomeni, rispetto a quelli che sono studiati, per cui possono essere considerate come guida per indirizzare la



ricerca scientifica, nello scoprire se i nuovi fenomeni, ricavati dai risultati delle simulazioni, abbiano un riscontro nella realtà.

Una fra le critiche più frequenti afferma che le simulazioni non lasciano trasparire cosa avviene anche quando riproducono qualcosa con successo, sono in pratica delle “scatole nere”: è conosciuto cosa viene inserito, cioè cosa c'è dentro e cosa esce, ma è ignoto cosa ci succede dentro. Questo però vale solo per chi osserva passivamente da fuori. Il ricercatore che implementa la simulazione è come se operasse in un laboratorio sperimentale, può intervenire e modificare ogni aspetto per vedere i risultati che derivano da queste sue manipolazioni, osservando non solo i fenomeni, ma anche ciò che ci sta dietro.

Secondo alcuni, poi, le simulazioni pur essendo in grado, in alcuni casi, di riprodurre il fenomeno studiato, non permettono di comprenderlo a fondo, perché essendo espresse in linguaggi informatici, possono essere comprese nella loro essenza solo da esperti di questo settore; a queste affermazioni è facile ribattere dicendo che le teorie espresse in modo tradizionale sono descritte con un linguaggio matematico che, per essere compreso, deve presupporre un determinato livello di conoscenza della matematica. Questo si traduce nel fatto che tutte le teorie, “classiche” e non, richiedono determinate conoscenze specifiche per essere comprese e perciò non possono essere intese nella loro essenza da chiunque. Invece il loro significato può essere compreso anche senza una base matematica nella maggior parte dei casi e questo avviene anche per le simulazioni, che attraverso il monitor del computer, possono far capire in maniera molto esplicita cosa accade nell'ambiente simulato.

5.1.3 I problemi della simulazione

Anche le simulazioni presentano dei problemi e dei limiti reali ma che non consistono in veri e propri ostacoli che minano l'efficienza di questa metodologia di ricerca. Tali limiti sono per lo più dovuti all'incapacità di usare correttamente questa metodologia ed è quindi attendibile che possano essere superati, grazie ad una maggiore perizia da parte di coloro che le utilizzano.

Uno dei più rilevanti problemi è che spesso coloro che le usano tendono a dare maggior peso alle verifiche interne che alle verifiche esterne. La verifica interna consiste nel valutare se derivino effettivamente le predizioni che si pretende che da essa siano ricavabili. La verifica interna di una teoria è un elemento essenziale della ricerca scientifica, soprattutto quando i fenomeni della realtà che vengono studiati sono complessi. Ciò nonostante non è ammissibile rinunciare a eseguire anche la verifica esterna, che consiste semplicemente nel controllo dei risultati ottenuti in fase di simulazione con la realtà a essi relativa, è cioè va controllato che quello che è accaduto nella simulazione corrisponda ai fatti empirici. Accade di frequente che in questa verifica esterna la ricerca sia un pò assente e inadeguata. È anche vero che uno scienziato, prima di costruire una simulazione, debba avere ben presente un fenomeno, che poi è il soggetto che vuole analizzare e che quindi al momento del conseguimento dei risultati, faccia implicitamente un'analisi con la realtà. Però è anche vero che il confronto tra risultati della simulazione e realtà, non avviene in modo sistematico, come invece dovrebbe essere, per constatare poi la validità dell'analisi condotta. È quindi necessario che i riscontri siano espliciti, dettagliati e ampi, altrimenti è probabile che il troppo coinvolgimento nei mondi artificiali faccia trascurare il punto di vista della realtà empirica, che invece deve essere ben presente. La mancanza di un tale raffronto, può anche dipendere da un eccessivo impegno per la costruzione di



una simulazione che sottrae tempo e risorse ad una verifica esterna sistematica ed approfondita. Comunque non va dimenticato che le simulazioni possono essere usate anche a fini unicamente pratici, magari per generare nuove tecnologie; in questo caso il confronto con la realtà è superfluo poiché non è negli obiettivi che il ricercatore si prefigge.

Un altro problema deriva da una errata semplificazione della realtà, in quanto le simulazioni essendo teorie devono in primo luogo semplificare, ma queste semplificazioni devono essere indirizzate nella maniera corretta; è quindi necessario semplificare solo gli elementi che non sono particolarmente rilevanti per il fenomeno in questione e mantenere tutto il resto. Risulta indispensabile dedicare molta attenzione nella distinzione tra aspetti irrilevanti ed aspetti rilevanti, magari utilizzando anche precise metodiche che indichino quali siano le semplificazioni giuste e quali no.

Nel processo di semplificazione della realtà è anche essenziale che non siano inseriti dettagli inutili, o addirittura arbitrariamente scelti, cioè particolari che non abbiano riscontro nella realtà; questo problema potrebbe anche essere indicato come l'opposto di quello appena citato nel senso che inserendo dettagli estranei alla realtà è molto probabile non riuscire a simulare un sistema o riprodurre scorrettamente il fenomeno reale sotto studio. Per evitare questo problema è necessario interpretare correttamente i risultati, cercando di capire qual è il contributo che i singoli dettagli danno ai risultati della simulazione, in modo da individuare facilmente i dettagli inseriti arbitrariamente che apportano un contributo discorsivo all'andamento della simulazione.

Nel caso che le simulazioni non confermino le ipotesi iniziali è difficoltoso capire, basando la verifica sull'interpretazione dei risultati, se l'errore sia attribuibile ad un'inesatta specificazione del modello o semplicemente ad una scorretta programmazione; può anche capitare che le ipotesi siano

confermate, ma comunque può essere difficoltoso confermare la congruenza dei risultati, perché oltre a quelli espliciti possono essercene anche altri impliciti.

Un altro problema riguarda il livello di realismo della simulazione, perché nel processo di semplificazione della realtà è importante trovare il giusto bilanciamento tra i dettagli indispensabili e quelli superflui, per non creare un modello che non è in grado di rappresentare efficacemente ed allo stesso tempo efficientemente la realtà studiata.

Un ultimo problema consiste nella definizione delle assunzioni su cui graverà il modello e dei valori da assegnare ai parametri, che possono richiedere un minuzioso adattamento necessario all'utilizzatore per scegliere la migliore possibilità.

5.1.4 Modelli

Un modello descrive una realtà da studiare e deve catturare e mettere in evidenza gli aspetti d'interesse, tralasciando quelli che risultano essere insignificanti ed inutili. Dettaglio, precisione ed estensione del modello devono essere rapportati allo scopo finale della simulazione.

Un buon modello deve avere le seguenti caratteristiche:

- ✓ *correttezza*: deve riprodurre esattamente gli aspetti di interesse della realtà studiata;
- ✓ *precisione*: lo scostamento misurato tra i risultati della simulazione e quelli della realtà deve essere il minimo possibile;

- ✓ *generalità*: deve poter gestire correttamente le varianti della realtà in esame ed essere il più scalabile possibile; ciò è ottenibile in parte attraverso l'uso di parametri;
- ✓ *affidabilità*: la simulazione deve fornire sempre risultati corretti per ogni condizione di utilizzo; in altre parole non deve accadere che per alcuni particolari configurazioni si ottengono risultati completamente sbagliati.

Nell'ambito dell'ingegneria, si definisce modello matematico un modello formale che opera su oggetti matematici, che rappresentano le astrazioni delle entità reali che si stanno considerando. Nella progettazione e nello studio di una qualsiasi entità reale, risulta spesso difficile o impossibile avere a disposizione modelli intuitivi e semplici, che aiutino a capire se una certa soluzione possa essere adeguata o meno per l'applicazione diretta al mondo reale. I modelli matematici possiedono il vantaggio, su tutti gli altri modelli formali, di non essere costosi (come i modelli fisici) e di permettere di applicare il rigore del ragionamento matematico. Ad esempio, un insieme di equazioni differenziali può descrivere la struttura di un ponte e le forze che su di esso sono esercitate; sulla base di esse il progettista può anticipatamente prevedere gli sforzi a cui è sottoposta la struttura interna del ponte.

Un modello matematico non è semplicemente una copia o una rappresentazione in miniatura di qualche oggetto o fenomeno; esso è piuttosto un insieme di affermazioni (e talvolta di supposizioni) il cui scopo è di spiegare certi fenomeni, ovvero di farli comprendere con maggior chiarezza. Seguendo gli approcci classici, la definizione di un modello matematico avviene attraverso la scrittura di equazioni differenziali. Si perviene così ad uno o più sistemi di equazioni che in sostanza rappresentano la realtà studiata. Ciò penalizza fortemente gli studiosi delle scienze per le quali non è possibile o realistico ricondursi a modelli puramente matematici, la cui risoluzione non è computazionalmente trattabile nella maggioranza dei

casi. Una prima classificazione dei modelli matematici vede la distinzione tra modelli *deterministici* e modelli *stocastici*. In un modello deterministico non ci sono elementi probabilistici, mentre questi sono presenti in un modello stocastico. Introducendo i dati di ingresso in un modello deterministico si ottiene un risultato fissato; in un modello stocastico invece si ottiene un risultato probabilistico, vale a dire una stima delle reali caratteristiche del modello.

Un'ulteriore classificazione per i modelli matematici riguarda la distinzione tra modelli di tipo “*continuo*” e modelli di tipo “*discreto*”. Nel primo caso le caratteristiche del sistema subiscono mutamenti di stato di tipo continuo, nel secondo caso i mutamenti di stato si verificano unicamente in corrispondenza di intervalli temporali discreti.

5.1.5 Fasi della simulazione

Le operazioni di codificazione necessarie per costruire un modello vanno inquadrare in un processo di studio del sistema che segue diversi passi. Questo processo non è una semplice sequenza di fasi, infatti è necessario ritornare al passo precedente ogni volta che si acquisiscono conoscenze sempre più approfondite sul sistema. Il processo di studio del sistema si può suddividere nelle seguenti fasi:

- *formulazione del problema*: definizione del sistema da studiare e dei suoi obiettivi;
- *acquisizione dei dati*: raccolta, analisi, selezione e validazione dei dati quantitativi del sistema;
- *realizzazione del modello*: formulazione delle ipotesi e realizzazione del modello;



- *validazione*: confronto delle caratteristiche del modello con quelle del sistema;
- *implementazione del software*: scrittura del programma in un linguaggio generico di simulazione o attraverso un ambiente di simulazione adeguato (l'impiego di un simulatore user-friendly può semplificare molto questa attività rispetto all'utilizzo di un linguaggio generico di programmazione);
- *validazione del simulatore*: esecuzione di test di simulazione per confrontare se gli output del modello si avvicinano agli output del sistema esistente; se gli output non sono in accordo allora si rende necessaria la revisione delle fasi precedenti;
- *definizione della fase sperimentale*: valutazione dei tempi di simulazione, delle condizioni iniziali e del numero di simulazioni necessarie;
- *simulazioni*: vengono effettuate le simulazioni;
- *analisi dei risultati*: esame e osservazione dei risultati ottenuti per definire le misure di prestazione del sistema;
- *presentazione dei risultati*: utilizzo dei risultati a supporto delle decisioni per la gestione del sistema.

5.1.6 Micro e Macro Simulazioni

Una simulazione, indipendentemente dalla metodologia utilizzata, in relazione al livello di dettaglio con cui analizza e modella il sistema, può essere una micro - simulation o una macro - simulation. Se il sistema viene analizzato, studiato e modellato nella sua globalità, in termini di popolazione piuttosto che degli individui che lo compongono, ci si trova di fronte ad una tecnica di macro - simulation. Nella realtà ogni entità fornisce un suo



contributo al raggiungimento del risultato finale e, anziché considerare la somma di ognuna di esse, viene fatta una sorta di media ponderata dei vari contributi. Tutto viene come centralizzato, le singole entità possono essere viste come insiemi inscindibili di una macrostruttura caratterizzata da un certo numero di parametri.

In antitesi a quanto detto vi sono le tecniche di micro - simulation, dove il modello cerca di specificare il contributo dato dalle singole entità ed è in grado di osservare e studiare la formazione di comportamenti emergenti; si tratta di situazioni imprevedibili a priori, sia qualitativamente che quantitativamente, il cui verificarsi è dato dalla reciproca interazione tra le varie entità, più precisamente quando il raggiungimento dello stato finale del sistema è funzione non lineare del contributo di ogni singolo ente. Con tecniche di macro - simulation ciò è impossibile; infatti queste vanno utilizzate quando le dinamiche della realtà sono dominate da precise leggi di vario tipo piuttosto che da scambio di informazioni e interazioni tra le varie parti del sistema.

5.2 L'ABMS

ABMS è l'acronimo di "Agent Base Modeling and Simulation" che tradotto significa "Simulazione basata sulla modellazione ad agenti" e rappresenta un nuovo paradigma di modellazione. Si tratta in pratica di un metodo di calcolo per simulare le azioni e le interazioni tra individui autonomi in un ambiente, al fine di valutare i loro effetti sul sistema nel suo complesso. Combina elementi di teoria dei giochi, sistemi complessi, emergenza, sociologia, informatica, sistemi multi agente e programmazione evolutiva, usufruendo



del metodo Monte Carlo per introdurre la casualità, quando questa risulti utile.

Nell'*Agent Based Modeling* un sistema è modellato come una collezione di entità che decidono (gli agenti); ognuna individualmente valuta l'ambiente e la situazione in cui si trova e di conseguenza prende decisioni in base a delle determinate regole; può tenere vari comportamenti adeguati al sistema di cui fa parte come ad esempio produrre, consumare o vendere. Le interazioni tra gli agenti sono la caratteristica fondamentale di questo paradigma basato anche sulla potenza di calcolo fornita dai computer.

Al suo livello più semplice un ABMS consiste in un insieme di agenti e di relazioni fra essi; ma da una collezione di sistemi semplici possono derivare però dei comportamenti molto complessi che sono in grado di fornire considerevoli informazioni riguardo ai fenomeni reali che tentano di emulare. Inoltre gli agenti possono essere in grado di evolvere dando così la possibilità a capacità impreviste di emergere. Negli ABMS più sofisticati vengono anche incorporati reti neurali, algoritmi genetici o altre tecniche di apprendimento in modo da permettere l'adattamento e l'acquisizione di nuove capacità agli agenti.

ABMS è più un atteggiamento mentale piuttosto che una tecnologia vera e propria; quest'atteggiamento consiste nel descrivere un sistema dalla prospettiva delle sue unità costituenti: infatti, un sinonimo di ABMS potrebbe essere modellazione microscopica¹⁰.

Fra i motivi alla base della popolarità dell'ABMS c'è la facilità d'implementazione: infatti, appena appresi i principi fondamentali, è facile costruire un agente; tuttavia, pur avendo un'agevole tecnica implementativa, i concetti da sviluppare non sono facili da padroneggiare.

¹⁰ Tale concetto verrà ripreso ed approfondito nel paragrafo 5.3.1.

Pertanto l'ABMS è tecnicamente semplice, ma allo stesso tempo concettualmente profondo e questa insolita combinazione porta spesso a un uso improprio.

5.2.1 Gli agenti

Sebbene non ci sia una definizione universale, ogni tipo di elemento indipendente può essere considerato un agente (software, modello, individuo, etc.); il comportamento di questo elemento indipendente può spaziare da semplici reazioni sino a complessi adattamenti; secondo altre definizioni è ammissibile considerare agenti solo gli elementi che presentano caratteristiche di adattamento. In senso più generale un agente è un elemento che può apprendere dall'ambiente in cui si trova e cambiare il suo comportamento in risposta a questo.

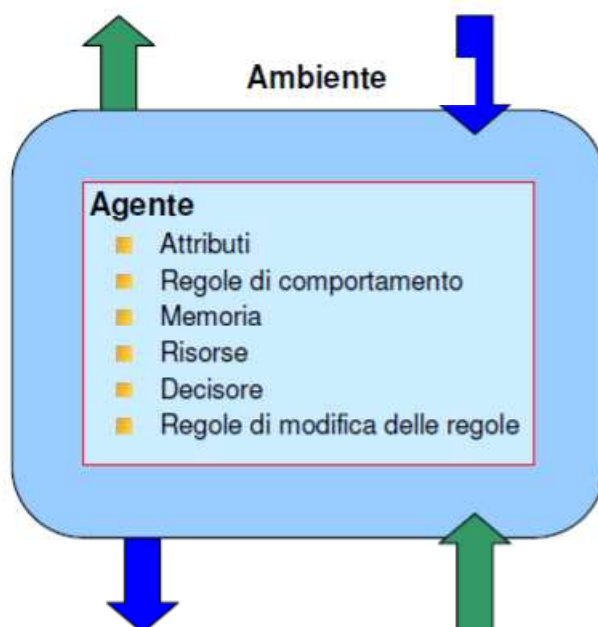


Figura 5.1 - Un Agente

Russell e Norvig [12] forniscono la seguente definizione di agente: “Si intende per agente una qualsiasi entità in grado di percepire il proprio ambiente attraverso dei sensori e di agire in quell’ambiente attraverso degli attuatori.”

Un agente allora si può considerare composto da:

1. organi sensori per percepire l’ambiente;
2. organi attuatori per agire in quell’ambiente;
3. una razionalità che lo guida nelle azioni.



Figura 5. 2 - Gli agenti interagiscono con l’ambiente per mezzo di sensori e attuatori

Un *agente razionale* è un agente che agisce in modo da massimizzare il rendimento di una sua performance. In generale si può dire che il comportamento di un agente razionale può essere definito in termini del “successo” delle sue azioni, attraverso una misura di prestazione. Naturalmente non esiste un unico criterio valido per ogni agente. Inoltre ogni *performance measure* deve essere di tipo oggettivo e stabilita da una autorità esterna, cioè in qualità di osservatori esterni si stabilisce un modello di ciò che significa aver successo in un ambiente e si userà per misurare la

prestazione degli agenti. Insieme alla misura di prestazione deve essere definito anche il periodo di tempo durante il quale effettuare la valutazione del comportamento di un agente. La razionalità del comportamento dipende dalle caratteristiche dell'ambiente e dalla conoscenza che l'agente ne ha.

In sintesi, in ogni istante la razionalità di un comportamento dipende da quattro componenti:

- La misura di prestazione che definisce il grado di successo;
- Tutto ciò che l'agente ha percepito fino a quell'istante, cioè la sequenza delle percezioni;
- La conoscenza dell'agente dell'ambiente in cui opera;
- Le azioni che l'agente è in grado di eseguire.

Un agente razionale *ideale* può essere definito come segue: “Per ogni possibile sequenza di percezioni, un agente razionale ideale dovrebbe eseguire qualsiasi azione che possa massimizzare la misura di prestazione, in base alle informazioni fornite dalla sequenza delle percezioni e dalla sua conoscenza predefinita sull'ambiente.”

Un agente si definisce *autonomo* quando le scelte delle sue azioni dipendono solo dall'esperienza personale, piuttosto che dalla conoscenza dell'ambiente che è stata predefinita dal progettista.

Ancora, è possibile considerare la definizione di *Wooldridge e Jennings* [8]: “Un agente è un sistema informatico situato in un certo ambiente, capace di azioni autonome in tale ambiente allo scopo di raggiungere i propri obiettivi”. In base a quest'ultima definizione si ha che: si parla di agente e non di agente intelligente; non si specifica un tipo di ambiente perché gli agenti possono trovarsi in differenti tipi di ambiente; l'agente è inserito in un ambiente, nel senso che riceve da questo input sensoriali e può compiere azioni che modificano l'ambiente in qualche modo; l'ultimo concetto è quello di

autonomia, intesa qui come la capacità degli agenti di agire in maniera indipendente, senza l'intervento dell'uomo o di altri sistemi, avendo un controllo diretto sulle proprie azioni e sul proprio stato interno.



Figura 5.3 - Un agente nel suo ambiente

Il concetto di obiettivo è centrale: ogni agente è chiaramente identificabile come entità autonoma atta al *problem-solving* finalizzato al raggiungimento di uno o più obiettivi specifici.

Dunque l'autonomia è la caratteristica principale degli agenti, che li rende capaci di rispondere in maniera indipendente da altri processi, gestendo il proprio stato interno, di prendere iniziative per raggiungere i propri obiettivi di progetto e anche di rifiutare di effettuare un'azione che gli era stata richiesta da un altro agente, "*agents can say no*".

Possono essere considerati come esempi di agente qualsiasi sistema di controllo, che deve controllare un ambiente reale e compiere azioni per modificarlo, quando cambiano le sue condizioni (un classico esempio è il termostato, che ha come obiettivo quello di mantenere la temperatura di un

ambiente ad un dato valore costante), e i *software daemons* che controllano invece un ambiente software e intervengono per modificarlo [16].

Secondo *Wooldridge e Jennings* [8], un agente per essere definito intelligente deve avere alcune proprietà, cioè “deve essere capace di azioni autonome flessibili per raggiungere i propri obiettivi”.

Per flessibile si intende:

- *Reattivo*: gli agenti percepiscono l’ambiente, mantenendo una continua interazione con esso, e rispondono ai cambiamenti in maniera tempestiva per soddisfare gli obiettivi di progetto. La reattività è necessaria in un ambiente dinamico;
- *Pro-attivo*: gli agenti sono intraprendenti, cioè mostrano un comportamento diretto allo scopo, *goal-oriented*, prendendo l’iniziativa, non sono semplicemente guidati dagli eventi;
- *Sociale*: gli agenti sono capaci di interagire con umani o altri agenti attraverso l’uso di un linguaggio di comunicazione ad agente, *agent-communication language (ACL)*, e l’uso di strategie di coordinamento e negoziazione che permettono la risoluzione di conflitti tra gli agenti, la realizzazione di compiti comuni e lo scambio di risorse e attività. Questo tipo di abilità sociale è molto più complessa rispetto alla semplice abilità di scambiare un’informazione binaria.

Quella appena vista è la “nozione debole” di agente; esiste anche una “nozione forte” secondo cui un agente è un sistema hardware o software che, oltre a possedere le caratteristiche deboli precedenti, è concettualizzato e implementato usando attributi che sono solitamente applicati agli umani.

Ad esempio, un agente può essere caratterizzato utilizzando nozioni tipiche della mente umana, come conoscenze, credenze, intenzioni, desideri [28] o anche nozioni emozionali [29, 30].



Altre proprietà degli agenti sono:

- *Mobilità*: l'abilità di un agente di muoversi tra i nodi di una rete;
- *Sincerità*: un agente non comunica di proposito informazioni false;
- *Benevolenza*: gli agenti non hanno obiettivi conflittuali e ognuno di loro proverà a fare ciò che gli viene richiesto;
- *Razionalità*: un agente agisce in funzione dei suoi obiettivi e non si comporterà in maniera diversa in base alle sue conoscenze e credenze, impedendo così il raggiungimento del suo obiettivo di progetto.
- *Apprendimento/Adattamento*: gli agenti migliorano le performance nel tempo; per essere veramente 'smart', un agente dovrebbe imparare come esso reagisce e/o interagisce con l'ambiente esterno.

Ancora, un agente dovrebbe avere le seguenti caratteristiche:

- *Identificabilità*: un agente è un elemento discreto con un insieme di caratteristiche e regole che governano il suo comportamento e la sua capacità decisionale; il fatto di essere un elemento discreto implica che abbia dei confini ben delimitati e possa essere facilmente determinabile se qualcosa fa parte, non fa parte o è una caratteristica condivisa di un agente;
- *Capacità di reazione e percezione*: un agente è collocato e opera in un ambiente per mezzo del quale interagisce con gli altri agenti, sfruttando un protocollo di comunicazione; è inoltre in grado di reagire all'ambiente e di riconoscere e distinguere le caratteristiche degli altri agenti;
- *Goals*: un agente ha uno o più obiettivi da raggiungere nel rispetto delle sue regole;

- *Autonomia*: è la capacità degli agenti di agire senza la guida dell'uomo. Tali agenti posseggono degli stati interni e degli obiettivi, e agiscono in modo tale da realizzare i loro scopi nell'interesse dei propri utenti;
- *Cooperazione*: un agente può operare sia in modo isolato che in accordo con altri agenti condividendo conoscenza, informazioni e strategie con altre entità. In pratica è la capacità di interagire con altri agenti, è un attributo fondamentale per poter avere agenti multipli piuttosto che uno solo che lavora su un determinato task. Per poter cooperare, gli agenti devono possedere un'abilità sociale;
- *Flessibilità*: deve avere l'abilità di apprendere e adattare i suoi comportamenti in base alle esperienze; per questo necessita di una forma di memoria e di regole che permettano di modificarne il comportamento.

Un agente dovrebbe includere sia delle regole di base che definiscono il suo comportamento, sia un altro insieme ad alto livello di “regole che modificano le regole”. Le regole di base provvedono alle reazioni all'ambiente mentre le “regole che modificano le regole” provvedono all'adattamento all'ambiente.

5.2.1.1 Tipologie di agenti

Esistono vari tipi di agenti, una classificazione utilizzata è di tipo continuo su una scala che va da *fine-grained agent*, ovvero agenti puramente reattivi dove un certo stimolo esterno corrisponde ad un determinato comportamento da parte dell'agente, a *coarse-grained agent*, ovvero agenti con capacità deliberative che costruiscono una propria rappresentazione del mondo ed effettuano ragionamenti su di essa.

Secondo *Nwana*, è possibile collocare gli agenti in differenti classi e definire una precisa tipologia [20].



In primo luogo, gli agenti possono essere classificati in base alla loro mobilità dando vita alle classi di agenti statici e mobili.

In secondo luogo, possono essere classificati come deliberativi o reattivi. Gli agenti deliberativi derivano dal paradigma di pensiero deliberativo: posseggono al loro interno un modello di ragionamento simbolico e sono in grado di agire, pianificare e negoziare in modo tale da coordinarsi con altri agenti. Gli agenti reattivi, al contrario, non posseggono alcun modello simbolico del loro ambiente e agiscono sulla base di un modello di comportamento stimolo/risposta, rispondendo allo stato presente dell'ambiente in cui sono collocati [31].

In terzo luogo, gli agenti possono essere classificati in base ad alcuni attributi ideali e fondamentali che essi dovrebbero mostrare, che sono: autonomia, apprendimento e cooperazione, già discussi nel paragrafo 5.2.1.

In base a queste tre caratteristiche, è possibile individuare inizialmente quattro tipi di agenti, mostrati in Figura 5.4:

- Collaborative agents;
- Collaborative learning agents;
- Interface agents;
- Smart agents.

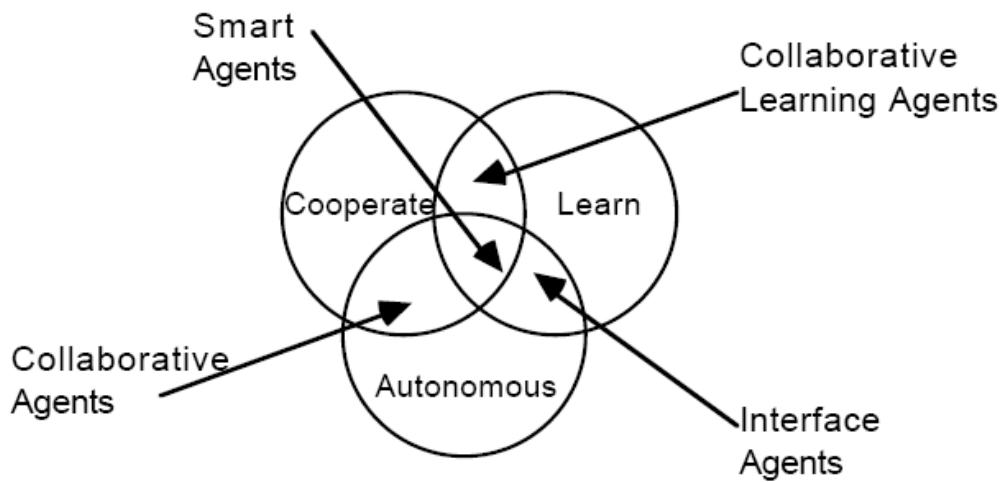


Figura 5. 4 - Una tipologia di agenti

In quarto luogo, gli agenti talvolta possono essere classificati in base al ruolo svolto, ad esempio si possono avere *world wide web information agents*.

Infine troviamo la categoria degli agenti ibridi che combinano in un singolo agente due o più filosofie di agente.

È possibile quindi individuare sette tipi di agenti:

1. *Collaborative agents*;
2. *Interface agents*;
3. *Mobile agents*;
4. *Information/Internet agents*;
5. *Reactive agents*;
6. *Hybrid agents*;
7. *Smart agents*.

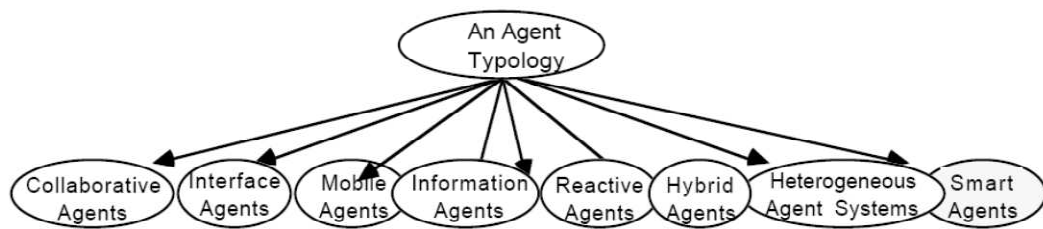


Figura 5. 5 - Una classificazione degli agenti

Esistono diverse applicazioni che combinano agenti che appartengono a due o più di queste categorie; ci si riferisce a tali applicazioni con il termine sistemi ad agenti eterogenei, *heterogeneous agent systems*, che vedremo più avanti.

Gli agenti non devono necessariamente essere benevoli gli uni con gli altri. È possibile che gli agenti siano in competizione tra loro e probabilmente antagonisti.

Vediamo ora in dettaglio i diversi tipi di agente.

Collaborative agents

Gli agenti collaborativi sono entità autonome in grado di collaborare con altri agenti per realizzare task per gli utenti. Essi possono anche apprendere ma ciò non è un aspetto fondamentale. Al fine di collaborare, possono avere necessità di effettuare negoziazioni per accordarsi su diversi aspetti dei task nei quali sono coinvolti. Essi presentano le caratteristiche di autonomia, abilità sociale, comprensione, proattività e tendono a essere statici e *coarse-grained*; questa tipologia di agenti è particolarmente utilizzata nei sistemi multiagente. La collaborazione può fornire un ulteriore contributo all'autonomia di un agente: una volta aver ricevuto un'istruzione, quest'ultimo potrebbe negoziare per modificare la richiesta, chiedere chiarimenti, oppure persino rifiutarsi di eseguirla.



Interface agents

Gli agenti d'interfaccia sono entità autonome con capacità di apprendimento al fine di portare a termine i task per i propri utenti.

Pattie Maes, ha evidenziato la metafora alla base di tali agenti: “un assistente personale che collabora con l'utente nello stesso ambiente di lavoro”. Bisogna far attenzione alla sottile differenza tra questo tipo di agenti e quelli precedenti, questi ultimi collaborano tra di loro mentre gli agenti d'interfaccia collaborano esclusivamente con gli utenti. Questa collaborazione può non richiedere un esplicito linguaggio di comunicazione ad agente come invece è richiesto quando si collabora con altri agenti.

Questo tipo di agente fornisce assistenza ad un utente che sta utilizzando una particolare applicazione, come un foglio di calcolo elettronico o un sistema operativo. Tali agenti monitorano le azioni intraprese dagli utenti e suggeriscono in tal modo le migliori modalità per portare a termine un lavoro. Perciò agiscono come un assistente personale autonomo che collabora con l'utente nell'eseguire un certo compito in un'applicazione.

La cooperazione con altri agenti è limitata esclusivamente alla richiesta di consigli e non ad eventuali negoziazioni al fine di collaborare al compimento di un task, come nel caso dei *collaborative agents*.

Mobile agents

Gli agenti mobili sono processi software in grado di muoversi all'interno di una rete globale (*WAN, wide area network, o WWW, World Wide Web*), di interagire con altri host, di ottenere informazioni e ritornare “alla base” dopo aver portato a termine i loro compiti.

Tuttavia, la mobilità non è una condizione né necessaria né sufficiente per essere considerati agenti. Gli agenti mobili sono agenti perché sono capaci di

autonomia e di cooperazione, anche se in maniera differente dagli agenti collaborativi. Per esempio, possono cooperare e comunicare con altri agenti rendendo loro noti la locazione di qualche oggetto interno oppure i loro metodi.

La mobilità rafforza l'autonomia dell'agente, che ad esempio potrebbe decidere su quale computer migrare, in base alle risorse disponibili. Inoltre l'agente ha un certo grado di intelligenza, sia per le decisioni che deve prendere, una volta spedito, sia per la capacità di memorizzare i risultati ottenuti su ciascun nodo visitato (capacità di mantenere ed aggiornare il suo stato).

Information/Internet agents

Gli *information agents* sono nati a causa della forte domanda di applicazioni per la gestione della crescente mole di dati presente oggi in rete. Essi hanno il compito di gestire, manipolare e collezionare informazioni da sorgenti distribuite.

Reactive agents

Gli agenti reattivi rappresentano una particolare categoria di agenti che non posseggono al loro interno modelli simbolici del loro ambiente; al contrario, essi agiscono in uno stile sollecitazione/risposta allo stato presente dell'ambiente in cui si trovano. Si tratta di agenti relativamente semplici e in grado di interagire con altri in maniera elementare.

Tre sono le ipotesi principali alla base di tali agenti, secondo *Maes* [32]; la prima è la semplicità in quanto non c'è nessuna specificazione a priori del comportamento di un insieme di agenti reattivi.

La seconda è la possibilità di decomporre in task un'applicazione: un agente reattivo è visto come una collezione di moduli ognuno operante in maniera



autonoma e responsabile di specifici task (rilevazioni, computazioni). La comunicazione tra i moduli è di basso livello e ridotta al minimo.

La terza è che tali agenti lavorano su semplici modelli dell'ambiente circostante che sono quelli forniti, per esempio, da sensori in contrasto con modelli simbolici di alto livello adottati negli altri agenti discussi in precedenza.

L'elemento chiave del successo di tali agenti è proprio questo nuovo modo di vedere l'ambiente circostante, cioè l'ambiente viene visto “per quello che è” tramite una serie di sensori e attuatori. In tal modo gli agenti reattivi si dimostrano semplici, facili da comprendere e con costi di memorizzazione ridotti dato che devono “ricordare” poco. Essi non programmano nulla in anticipo, ma le loro azioni dipendono da quello che accade in quel momento [31].

Hybrid agents

Sino ad ora si sono analizzati cinque tipi di agenti: collaborativi, di interfaccia, mobili, di Internet e reattivi.

Poiché ciascuno di essi ha i suoi pregi e i suoi difetti, si è cercato di massimizzare i primi e ridurre i secondi, adattando al meglio ciascuno di essi ai propri scopi.

Un modo per fare ciò è quello di adottare un approccio ibrido che cerca di unire i pregi sia degli agenti basati sul paradigma deliberativo, e cioè quelli collaborativi, di interfaccia, mobili e di internet, sia di quelli basati sul paradigma reattivo. Perciò, con il termine agente ibrido ci si riferisce ad agenti che fondono caratteristiche di due o più tipi di agenti in uno solo.

L'ipotesi alla base di tali agenti è che spesso, in diverse applicazioni, si possono ottenere performance migliori combinando diverse filosofie in un



unico agente piuttosto che affidarsi ad un unico agente che si basi su una singola filosofia tra quelle già viste.

Ovviamente, i benefici derivanti dall'uso di tale tipo di agenti nascono dall'unione dei benefici dei diversi tipi di agenti adottati. Per esempio, si supponga di realizzare un agente che unisca le caratteristiche di collaborazione, e quindi un agente di tipo deliberativo, e di reazione; la componente reattiva, che potrebbe avere la precedenza sull'altra, potrebbe portare i seguenti benefici: robustezza, adattabilità e tempi di risposta minori. La componente deliberativa potrebbe occuparsi degli scopi a lungo termine, aumentando la flessibilità del sistema.

Heterogeneous Agents System

I sistemi basati su agenti eterogenei, a differenza dei sistemi ibridi descritti in precedenza, sono dei sistemi integrati di due o più tipi di agenti tra quelli delle classi appena viste.

Mentre gli agenti ibridi combinavano filosofie diverse in un'unica struttura, ora vengono combinate direttamente diverse tipologie di agenti.

Uno dei principali motivi che hanno portato allo sviluppo di tali sistemi è l'ampia raccolta di prodotti software, ciascuno dei quali offre una vasta quantità di servizi [33]. Sebbene essi lavorino in modalità stand alone, c'è una crescente richiesta di interoperabilità tra di essi nella speranza di ottenere un valore aggiunto alla loro collaborazione. Al fine di ingegnerizzare e standardizzare l'interoperabilità tra diversi agenti software, è nata una nuova branca dell'informatica, *l'agent-based software engineering*.

Per quanto riguarda gli *smart agents*, sono agenti che godono contemporaneamente degli attributi di autonomia, cooperazione e apprendimento, ma rappresentano un'aspirazione dei ricercatori, piuttosto che una realtà. Un tale sistema costituisce però un modello rispetto al quale

gli attuali prototipi e le realizzazioni commerciali debbono far riferimento e verso il quale dovrebbe tendere la ricerca del settore.

5.2.1.2 Ambienti

La definizione di *Jennings e Wooldridge* [8], secondo cui l'agente è "situato in un certo ambiente", mette in evidenza l'importanza dell'ambiente: un agente non è un'entità isolata ma *esiste* in un ambiente, che percepisce attraverso sensori e nel quale agisce attraverso attuatori, quindi il suo comportamento, le sue caratteristiche e abilità sono strettamente collegate all'ambiente in cui è situato.

Nella maggior parte dei domini un agente non ha completa conoscenza dell'ambiente e completo controllo su di esso.

L'ambiente può evolvere dinamicamente e indipendentemente dall'agente e le azioni dell'agente possono fallire. In generale, si assume che l'ambiente sia non-deterministico.

Normalmente un agente avrà un repertorio di azioni disponibili detta *effectoric capability* che rappresenta la sua abilità di modificare l'ambiente in cui è collocato.

Gli ambienti possono essere di diversi tipi e le distinzioni principali sono presentate da *Russell e Norvig* [12]:

- **Accessibile/inaccessibile:** un ambiente è accessibile quando un agente può ottenere informazioni complete, accurate e aggiornate sullo stato dell'ambiente. È realmente accessibile se i sensori rilevano tutti gli aspetti che sono importanti per la scelta dell'azione. Più l'ambiente è accessibile, più semplice sarà costruire un agente che debba operarci. Ambienti più complessi (ad esempio, il mondo fisico, Internet) sono inaccessibili.

- **Deterministico/non deterministico:** un ambiente è deterministico quando un'azione ha un singolo effetto garantito, non vi è incertezza sullo stato prodotto da una particolare azione. Se lo stato successivo dell'ambiente è completamente determinato dallo stato attuale e dalle azioni selezionate dagli agenti, allora si dice che l'ambiente è deterministico. Il mondo fisico può essere visto, ai fini computazionali attuali, come non deterministico. Gli ambienti non deterministici presentano maggiori difficoltà per uno sviluppatore di agenti.
- **Episodico/non episodico:** in un ambiente episodico l'esperienza dell'agente è divisa in "episodi", ogni episodio è dato da un agente che percepisce e poi agisce. In tale ambiente, la prestazione di un agente dipende da un numero di episodi discreti, senza alcuna connessione con la prestazione di un agente in scenari diversi. Gli ambienti episodici sono più semplici per lo sviluppatore di agenti, poiché l'agente può decidere quale azione eseguire basandosi solo sull'episodio corrente, non gli è richiesto di ragionare sulle interazioni tra questo e gli episodi futuri. Un esempio di ambiente episodico potrebbe essere un sistema di gestione della posta [34].
- **Statico/dinamico:** un ambiente è statico quando si può assumere che rimanga immutato, eccetto per le azioni dell'agente. Un ambiente è dinamico quando vi sono altri processi che operano in esso e quindi cambia al di fuori del controllo dell'agente. Il mondo fisico, ad esempio, è un ambiente altamente dinamico.
- **Discreto/continuo:** un ambiente è discreto se c'è un numero fisso, finito di percezioni e azioni distinte e definite. Ad esempio, il gioco degli scacchi è discreto (c'è un numero fissato di mosse possibili ad ogni turno), invece guidare un taxi è continuo (la velocità e la

posizione del taxi e degli altri veicoli varia in un intervallo di valori continui) [35].

Se un ambiente è sufficientemente complesso, come gran parte delle situazioni reali, deve essere trattato come non deterministico.

In generale, la classe di ambienti più complessa è quella in cui essi risultano inaccessibili, non deterministici, non episodici, dinamici e continui.

5.2.1.3I Sistemi Multiagente

I sistemi multiagente, (*MAS, Multi-Agent System*), sono sistemi costituiti da molteplici elementi computazionali, detti agenti, i quali, come si è visto nel paragrafo precedente, mostrano due importanti capacità: in primo luogo, sono capaci di azioni autonome e quindi capaci di decidere cosa fare per soddisfare i propri obiettivi di progetto; in secondo luogo, sono in grado di interagire con altri utenti, non scambiando semplicemente messaggi, ma attraverso la cooperazione, la coordinazione e la negoziazione.

I due problemi principali che si presentano, a questo punto, sono quelli del design di un agente, ossia come costruire agenti capaci di azioni autonome e indipendenti per portare a termine i compiti loro richiesti, e quello del design di una società di agenti, ossia come costruire agenti capaci di interagire con gli altri avendo obiettivi differenti; la distinzione tra i due problemi viene indicata come distinzione micro/macro e può essere studiata seguendo due strade distinte: la prima, *top-down*, secondo cui si definiscono gli obiettivi e si studia la forma di interazione migliore; la seconda, *bottom-up*, secondo cui si definiscono gli agenti e le modalità di interazione, e si vede come evolve il sistema.

Nel passaggio dal concetto di agente a quello di sistema multiagente l'attenzione si sposta dal singolo agente alla società di agenti, intesa come un sistema aperto ed eterogeneo in cui agenti egoisti e competitivi giocano un



ruolo rilevante; è necessario, quindi, considerare aspetti importanti quali l'interazione, la coordinazione e l'organizzazione, ovvero affrontare una serie di problemi: come formulare, descrivere, decomporre e allocare problemi e sintetizzare i risultati tra un gruppo di agenti intelligenti, come rendere gli agenti capaci di comunicare e interagire, quale linguaggio e protocollo impiegare perché l'informazione scambiata arrivi con certezza e in tempo, come gestire l'allocazione di risorse limitate, come garantire che agenti egoisti, “*self-interested*”, raggiungano accordi e agiscano coerentemente nel prendere decisioni ed effettuare azioni [18].

Un sistema multiagente, il cui schema è mostrato in Figura 5.6, può essere definito nei seguenti modi: “un sistema in cui agenti intelligenti interagiscono per soddisfare un certo insieme di obiettivi, allo scopo di portare a termine un certo insieme di compiti” [4];

“a loosely coupled network of problem solvers that interact to solve problems that are beyond the individual capabilities or knowledge of each problem solver” [40].

I “*problem solvers*” sono chiamati agenti, sono autonomi e possono essere eterogenei.

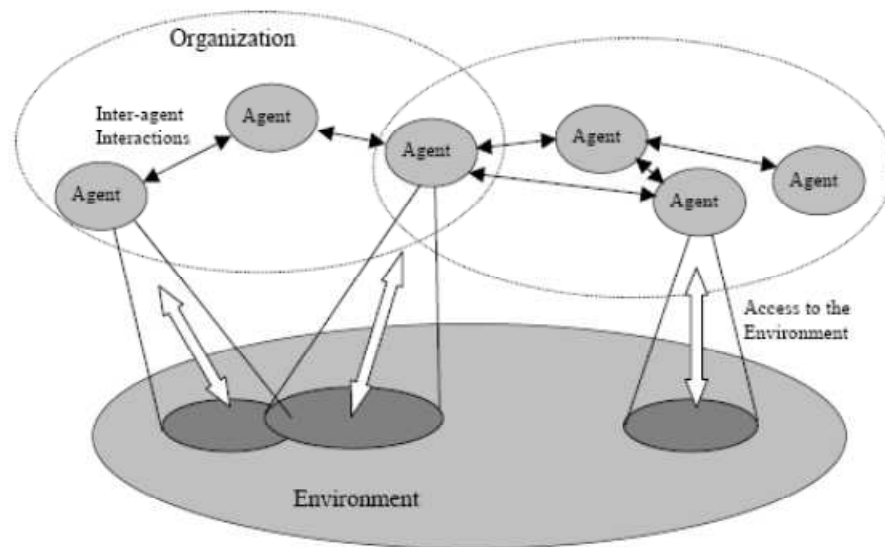


Figura 5. 6 - Schema generico di un sistema multiagente

I sistemi multiagente sono un sottocampo relativamente nuovo della scienza informatica.

La storia dell'informatica è stata contrassegnata da cinque tendenze che contribuiscono tuttora allo sviluppo e diffusione dei sistemi multiagente:

- *Ubiquità*: il processo di riduzione dei costi dei componenti informatici ne ha reso possibile la diffusione anche in ambienti impensabili;
- *Interconnessione*: dai primi computer, come entità isolate, si è passati a quelli interconnessi in sistemi distribuiti; Internet è l'esempio più evidente;
- *Intelligenza*: la complessità dei compiti, che è possibile delegare ai computer, cresce costantemente;
- *Delega*: implica che l'uomo lasci il controllo al computer, è il caso, ad esempio, di un pilota automatico di un aereo;

- *Human-orientation*: sempre più, col passare del tempo, ci si riferisce alle macchine in termini di concetti e metafore simili al modo in cui l'uomo percepisce il mondo [16].

Le principali caratteristiche di un sistema multiagente sono [18]:

- ogni agente ha informazioni o capacità incomplete, quindi ha un punto di vista limitato dell'ambiente;
- il sistema di controllo è distribuito;
- i dati (sistema di elaborazione) sono decentralizzati;
- l'interazione è asincrona, dinamica e ad alto livello.

Dire che il sistema di controllo è distribuito (decentralizzato), significa che non esiste un processo centrale che raccoglie le informazioni da ogni agente e poi decide quale azione dovrebbe compiere ogni agente; è l'agente stesso che decide. Questo processo di decisione distribuito, in un MAS, porta ad una computazione asincrona. Ovviamente, in questi casi è necessario realizzare un buon meccanismo di coordinazione, il quale assicuri che le decisioni di ogni singolo agente diano un risultato soddisfacente per l'intero sistema e in accordo con gli obiettivi globali da portare a termine.

Le ragioni alla base del crescente interesse per i MAS riguardano i vantaggi e l'abilità che essi presentano:

- Permettono di risolvere problemi per i quali le informazioni, l'esperienza e il controllo sono distribuiti, come nel caso delle reti di sensori, il monitoraggio sismico e la raccolta di informazioni da Internet, il “*concurrent engineering*”, la sanità e le attività industriali;
- Migliorano le performance nel senso di (1) *efficienza computazionale*, cioè gli agenti possono operare in parallelo e in maniera asincrona e con elevata velocità; (2) *affidabilità e*

robustezza, poiché il guasto di uno o più agenti non rende necessariamente l'intero sistema inutilizzabile essendoci sempre altri agenti disponibili a prendere il posto di quelli guasti (oppure: essendo ogni agente autonomo, non vengono provocati danni all'intero sistema se uno di essi presenta qualche malfunzionamento); (3) *estendibilità e flessibilità*, poiché il numero e le capacità degli agenti possono cambiare e adattarsi al problema attuale; (4) *manutenibilità e responsiveness*, poiché per un sistema costituito da più componenti (agenti) risulta più semplice la manutenzione grazie alla sua modularità e quest'ultima fa sì che eventuali anomalie siano trattate localmente, evitando che si propaghino all'intero sistema; (5) *riusabilità*, essendo possibile riconfigurare e riutilizzare agenti in differenti ambiti di applicazione, infatti non si creano legami fissi tra gli agenti quindi è possibile sostituirli senza modificare l'intero sistema [41];

- Permettono di risolvere problemi troppo grandi per un singolo agente;
- Permettono l'interconnessione di sistemi esistenti.

5.2.2 I vantaggi dell'ABMS

L'utilizzo della modellazione basata sugli agenti si è rivelata alquanto utile nello studio e nell'analisi di fenomeni molto complessi soprattutto in termini di interdipendenze fra gli elementi che costituiscono il sistema. In campi come le scienze sociali, l'economia, le comunità biologiche etc. è riuscita a spiegare le cause di molti fenomeni dei quali non era stato ancora concepito il meccanismo.

I vantaggi della simulazione basata sulla modellazione ad agenti rispetto alle tradizionali tecniche di modellazione possono essere riassunti in tre punti:

1. identificano i fenomeni emergenti;
2. permettono una naturale descrizione del sistema;
3. sono estremamente flessibili.

5.2.2.1 Fenomeni emergenti

Un comportamento emergente o proprietà emergente può comparire quando un numero di entità semplici operano in un ambiente, dando origine a comportamenti più complessi in quanto collettività. La proprietà stessa non è predicibile, non ha precedenti e rappresenta un nuovo livello di evoluzione del sistema. I comportamenti complessi non sono proprietà delle singole entità e non possono essere facilmente riconosciuti o dedotti dal comportamento di entità del livello più basso; la forma e il comportamento di uno stormo di uccelli o di un branco di pesci sono buoni esempi.

Una delle ragioni per cui si verifica un comportamento emergente è che il numero di interazioni tra le componenti di un sistema aumenta combinatoriamente con il numero delle componenti, consentendo il potenziale emergere di nuovi e più impercettibili tipi di comportamento. D'altro canto, non è di per sé sufficiente un gran numero di interazioni per determinare un comportamento emergente, perché molte interazioni potrebbero essere irrilevanti, oppure annullarsi a vicenda. In alcuni casi, un gran numero di interazioni può in effetti contrastare l'emergenza di comportamenti interessanti, creando un forte “rumore di fondo” che può mascherare ogni segnale di emergenza.

È nella natura dell'ABMS sviluppare approcci canonici per la simulazione di fenomeni emergenti; infatti i modelli vengono costruiti partendo dalle unità

elementari (agenti) e dalle relazioni che le legano fra di loro e all'ambiente: l'emergenza viene poi rilevata e studiata durante le fasi della simulazione.

Rispetto alle tecniche tradizionali è conveniente utilizzare l'ABMS nel caso di fenomeni emergenti perché questi presentano comportamenti individuali non lineari e caratterizzati da valori di soglia o condizioni “if then” che sono difficili da rappresentare attraverso le equazioni differenziali; inoltre si possono individuare comportamenti che manifestano memoria, isteresi, comportamenti non markoviani, correlazioni temporali nonché apprendimento e adattamento; le interazioni fra gli agenti sono eterogenee e possono generare dei “network effect”¹¹ anche questi molto difficili da rappresentare attraverso equazioni.

5.2.2.2 Rappresentazione del sistema

L'ABMS fornisce un metodo immediato e naturale per la rappresentazione di un sistema formato da entità autonome, mentre con le altre tecniche c'è il tentativo di descrivere un sistema nel suo complesso: un ingorgo del traffico, il mercato azionario, le preferenze degli elettori o le operazioni di un'azienda, con l'ABMS, il fenomeno da studiare, viene riprodotto attraverso i suoi elementi costituenti.

Per esempio, è più naturale descrivere come si muovono i clienti in un supermercato, piuttosto che trovare le equazioni che governano la dinamica della densità di questi acquirenti; l'approccio ABMS consentirà così, lo studio, sia delle proprietà aggregate sia delle singole peculiarità; oltretutto le densità derivate tramite le equazioni provengono comunque dal comportamento degli acquirenti.

¹¹ Network effect o effetto di rete, viene chiamata appunto: esternalità di rete; essa si presenta in ogni mercato in cui il numero di utilizzatori totali di un bene è un attributo rilevante per determinare l'utilità del bene stesso.



Attraverso l'ABMS è possibile sfruttare appieno il potenziale dei dati che una società può avere circa i suoi clienti; tornando all'esempio del supermercato, conoscendo le preferenze di acquisto dei singoli clienti, ottenute memorizzando i carrelli della spesa, consente di ricreare degli agenti con le stesse preferenze dei clienti per poter simulare l'andamento degli acquisti.

La capacità di descrivere naturalmente un fenomeno è data dalla maggiore facilità di abbinare le attività svolte normalmente al concetto astratto di processo. Quando l'analista verifica il modello o intervista gli attori reali del processo da simulare, questi si ritroveranno più facilmente a mappare le attività che svolgono normalmente piuttosto che definire dei processi astratti, consentendo una messa a punto più accurata del modello stesso. Ad esempio la Figura 5.7 indica un modo di rappresentare i diversi processi di business rispetto alle attività che l'agente svolgerà.

Questi diagrammi sequenziali che sintetizzano il comportamento dell'agente a fronte delle varie situazioni sono molto intuitivi e possono essere verificati direttamente con gli attori reali, al contrario delle equazioni differenziali. Altro elemento importante relativo alla naturalità dell'ABM è dato dall'applicazione di calcoli stocastici direttamente inserendo dell'agente generazioni randomiche dei valori dei vari parametri.



Figura 5. 7 - Relazione tra attività dell'Agente e processi di business

5.2.2.3 Flessibilità

La flessibilità è certamente data dalla capacità endemica dell'ABMS di avere un numero non limitato di agenti che possono essere attivati e/o inseriti dinamicamente nel sistema sulla base delle necessità, consentendo di verificare se il livello di approssimazione del mondo reale si avvicina o meno alle attese, in un tempo minore rispetto ai modelli tradizionali.

La flessibilità dell'approccio ABMS è osservabile in più direzioni, come già detto, è semplice variare il numero di agenti che popolano un modello. Sono inoltre previsti appropriati meccanismi per adattare la complessità di un agente attraverso il suo comportamento alterando magari il grado di razionalità, la capacità di apprendimento o le regole di interazione con gli altri. Un altro grado di flessibilità riguarda anche la predisposizione a modificare il livello di descrizione e aggregazione; infatti possono coesistere nello stesso modello agenti aggregati, sottogruppi di agenti e singoli agenti con differenti gerarchie di descrizione.

5.2.3 Aree di Applicazione

Il ricorso alla modellazione basata sugli agenti al posto delle tecniche classiche è risultato estremamente utile per problemi per i quali non è possibile conseguire una spiegazione fondata su equazioni o quando esiste un modello matematico del sistema ma le equazioni con cui è descritto non sono completamente individuate. In generale però si rivela utile ricorrere alla ABMS anche quando il fenomeno da studiare può essere completamente descritto da equazioni risolvibili numericamente; in questo caso gli agenti possono essere usati come metodo alternativo per arrivare agli stessi risultati o come strumento per presentarli in modo più facilmente comprensibile rispetto a quelli di un modello matematico.

L'approccio ABMS trova una naturale e vantaggiosa applicazione in molte aree, si va dai mercati finanziari, alla ottimizzazione delle supply chain, alla previsione della diffusione di epidemie, alla gestione delle emergenze fino al mondo militare.

La struttura delle applicazioni parte da dei piccoli ed elementari modelli minimalisti fino a vasti sistemi di supporto alle decisioni. I modelli minimalisti sono basati su delle assunzioni, progettati per catturare solo le caratteristiche salienti di un sistema; sono piccoli laboratori dove è possibile testare la rappresentazione di svariati modelli applicando varie serie di assunzioni. I sistemi di supporto alle decisioni tendono ad essere applicazioni progettate su larga scala realizzate con lo scopo di risolvere o semplificare una serie di problemi reali. Vengono mantenuti con dati reali e devono superare tutta una serie di test di validazione per conferire credibilità ai loro risultati.

In generale è possibile utilizzare l'ABMS negli scenari in cui:



- ✓ La rappresentazione attraverso entità con le caratteristiche di agente è naturale ed immediata;
- ✓ Sono presenti comportamenti e decisioni;
- ✓ Il comportamento delle entità presenta dinamismo;
- ✓ Occorre focalizzare l'attenzione sull'interazione tra le varie entità piuttosto che sul sistema nella sua generalità;
- ✓ Il passato non è in grado di dare indizi e contributi significativi per la predizione del futuro;
- ✓ Il sistema presenta un grado di complessità troppo elevato a livello di interdipendenze tra le parti che lo compongono e dal punto di vista di modellazione top-down delle singole parti.

5.2.4 Sviluppo di un ABMS

In generale un modello basato su agenti è realizzato allo stesso modo di ogni altro modello. Prima di tutto devono essere individuati gli obiettivi, cioè gli interrogativi cui il modello deve rispondere; in seguito è necessario analizzare sistematicamente il sistema sotto studio, identificando le parti costitutive, le relazioni che intercorrono tra queste, le origini dei dati, cioè tutto quello che caratterizza il sistema. In seguito va sviluppato e di pari passo verificato effettuando una serie di test sistematici, variando i parametri e le assunzioni; infine va analizzata la validità e la robustezza del modello generato utilizzando appositi collaudi.

L'ABMS si differenzia dai metodi tradizionali soprattutto perché considera come prospettiva principale quella dell'agente, in contrasto con l'approccio impostato sulla prospettiva basata sul processo, classico dei tradizionali metodi di simulazione. In più rispetto ai metodi standard occorre:

1. Identificare gli agenti e individuare una teoria che descriva il loro comportamento;
2. Identificare le relazioni che intercorrono tra gli agenti e esprimere i protocolli che gestiscono le interazioni;
3. Individuare le informazioni essenziali perché l'agente possa perseguire il proprio obiettivo;
4. Convalidare il comportamento dell'agente rispetto all'ambiente in cui opera;
5. Analizzare il funzionamento del modello sia dal punto di vista dell'agente (livello micro) sia dal punto di vista del sistema (livello macro).

5.2.4.1 Metodologie di sviluppo

L'avvento del paradigma ad agenti ha radicalmente mutato il tradizionale metodo di evoluzione delle tecnologie informatiche. Da un lato le metodologie di analisi e progettazione (l'ingegneria del software orientata agli agenti) astruendo dai livelli alti hanno avuto uno sviluppo top-down, dall'altro lato i linguaggi e gli strumenti di sviluppo per sistemi multi agente hanno subito un'evoluzione originata dai linguaggi di programmazione già esistenti (principalmente object-oriented), conducendo ad una evoluzione bottom-up. Unitamente alla mancanza di un insieme di astrazioni globalmente accettato in entrambi gli ambiti di ricerca, questa evoluzione può portare verso inconsistenze tra il progetto e l'implementazione del sistema finale; infatti i concetti e le astrazioni utilizzati nelle fasi di analisi e progettazione possono risultare diversi da quelli utilizzati per realizzare il sistema. Così, se da un lato la progettazione agent-based offre un elevato livello di astrazione, tale da poter affrontare tematiche complesse come rappresentazione della conoscenza, ragionamento automatico, comunicazione, cooperazione tra entità autonome ed eterogenee, dall'altro

lato gli strumenti di sviluppo, che nella maggior parte dei casi sono ancora allo stadio di prototipi, sviluppati dalle università e dai centri di ricerca, non sono ancora in grado di supportare nativamente queste astrazioni, che vengono perciò “costruite” mediante l’ausilio di linguaggi object-oriented. In questa situazione due considerazioni meritano particolare attenzione:

1. Occorre individuare quali astrazioni siano realmente efficaci per modellare sia gli agenti sia l’ambiente in cui questi operano;
2. Come integrare tali astrazioni in una appropriata metodologia che sia in grado di supportare i progettisti durante tutto il ciclo di vita del software.

Purtroppo questi quesiti rimangono ancora parzialmente irrisolti in quanto per l’ABMS non sono ancora stati messi a punto una collezione standard, ben roduta, di formalismi o procedure per la progettazione e l’implementazione dei modelli.

5.2.4.2 Ingegneria del software orientata agli agenti

I sistemi multiagente necessitano per la loro implementazione di precise metodologie per lo sviluppo dei sistemi software ad elevata complessità. L’ingegneria del software orientata agli agenti (AOSE acronimo di *Agent-Oriented Software Engineering*) è nata in risposta a queste esigenze in modo da rendere disponibili degli approcci originali e innovativi per la produzione degli ABMS.

La prima astrazione chiave nell’AOSE è l’agente visto come un’entità software con le seguenti caratteristiche fondamentali:

- ✓ *Autonomia*: un agente ha un suo proprio flusso di attività interne e mostra un comportamento autonomo nel soddisfacimento dei suoi obiettivi;

- ✓ *Collocazione*: un agente esegue le sue attività in un particolare ambiente e può avere la capacità di percepire e modificare la porzione di ambiente che lo circonda;
- ✓ *Socialità*: un agente vive e interagisce con un ambiente popolato da altri agenti, appartenendo quindi a un sistema multiagente il cui comportamento globale deriva dalle interazioni tra gli agenti che costituiscono il sistema stesso.

La caratteristica della socialità mette in luce che un sistema multiagente non può essere semplicemente ricondotto alla mera somma di entità interagenti. Pertanto la modellazione richiede esplicitamente di porre attenzione all'ambiente e alle relazioni fra agli agenti che lo popolano. La modellazione dell'ambiente implica l'identificazione delle caratteristiche che lo contraddistinguono e delle risorse che sono presenti e dal modo in cui gli agenti possono interagire con esse. La modellazione della socialità implica l'identificazione di tutte le regole sociali necessarie a guidare l'evoluzione del sistema multiagente e dei vari ruoli che gli agenti possono rappresentare.

Queste considerazioni mettono in luce che le astrazioni di base dell'AOSSE differiscono profondamente da quelle proposte dai tradizionali approcci dell'ingegneria del software orientata agli oggetti. Le differenze tra i due approcci sono numerose ed è possibile riscontrare l'inadeguatezza dell'approccio object-oriented nella modellazione di sistemi, caratterizzati da autonomia ed evoluzione delle entità nonché imprevedibilità degli ambienti e dei contesti. In particolare, nelle tradizionali applicazioni object-oriented gli oggetti sono entità passive che rispondono solo a stimoli esterni, l'ambiente non viene esplicitamente modellato, mentre con l'AOSSE vanno considerati gli agenti, l'ambiente e le interazioni come entità di prima classe nella modellazione del sistema.

Le metodologie AOSE favoriscono un approccio per analizzare, progettare e sviluppare i sistemi multiagente, usando metafore e tecniche specifiche. Queste metodologie tipicamente identificano le astrazioni di base che saranno utilizzate nello sviluppo (in genere agenti, ruoli, risorse, strutture della organizzazione) avvalendosi di un metamodello¹², come strumento per studiare le metodologie e poterle confrontare tra loro. Tali astrazioni sono in genere organizzate e suddivise in fasi, in modo da fornire linee guida su come procedere nell'analisi, nella progettazione e nello sviluppo specificando con chiarezza i risultati attesi da ogni fase.

Tra le più note metodologie per lo sviluppo dei sistemi software ad agenti in letteratura è possibile ritrovare:

- *Gaia*: metodologia general-purpose che mira a guidare il progettista nello sviluppo di un sistema multiagente attraverso l'identificazione di una sequenza di modelli organizzativi e delle relazioni che sussistono tra essi;
- *Tropos*: è una metodologia fortemente orientata all'analisi dei requisiti del sistema, basata sui concetti di attori, dipendenze tra attori e dipendenze dalle risorse;
- *PASSI* (Process for Agent Societies Specification and Implementation): è una metodologia che mira a guidare passo passo il progettista dall'analisi dei requisiti sino all'implementazione, integrando modelli e filosofie di progettazione appartenenti sia al mondo object-oriented sia a quello agent-oriented; come linguaggio di modellazione utilizza una versione estesa di UML¹³;

¹² In informatica e nelle discipline collegate, un metamodello è la costruzione di una collezione di “concetti” (cose, termini, etc.) entro un determinato dominio. Un modello è una astrazione dei fenomeni nel mondo reale, un metamodello è un ulteriore livello di astrazione che mette in evidenza le proprietà del modello stesso. Un modello è conforme al suo metamodello nel modo in cui un programma per elaboratore è conforme alla grammatica del linguaggio di programmazione in cui è scritto.

¹³ UML (Unified Modeling Language, “linguaggio di modellazione unificato”) è un linguaggio di modellazione e specifica basato sul paradigma object-oriented. Il nucleo del linguaggio fu definito nel 1996 da Grady Booch,

- *SODA*: (Societies in Open and Distributed Agent spaces) è una metodologia per l'analisi e la progettazione di sistemi ad agenti che si concentra sugli aspetti interagenti: in particolare, *SODA* si focalizza sulla modellazione delle società di agenti e sulla descrizione e percezione dell'ambiente che circonda il sistema.

La chiave per la progettazione di un efficace modello è identificare accuratamente gli agenti, specificare il loro comportamento e le interazioni e rappresentare il tutto secondo uno schema adeguato.

Gli agenti sono i decisori di un sistema; tradizionalmente si può intendere come decisore un manager come, un po' più insolitamente, dei DSS (Decision Support System) ospitati su potenti elaboratori e sia gli uni che gli altri possiedono i propri comportamenti. Per identificare questo comportamento è necessario definire una teoria che identifichi la condotta dell'agente; è possibile partire da un modello in cui l'agente tenta di ottimizzare qualcosa utilizzando un euristica oppure, se disponibile, è possibile applicare al comportamento dell'agente una ben definita teoria. Esistono anche tecniche molto valide come la *Knowledge engineering*¹⁴ o la *Participatory simulation*¹⁵.

5.2.4.3 Strumenti di sviluppo

Se da una parte l'ingegneria del software orientata agli oggetti non è risultata adatta alla progettazione di applicazioni ABMS, favorendo l'elaborazione dell'ingegneria del software orientata agli agenti, il paradigma della

Jim Rumbaugh e Ivar Jacobson (detti "i tre amigos") sotto l'egida dello OMG (Object Management Group), che tuttora gestisce lo standard di UML.

¹⁴ Knowledge Engineering è una disciplina che cerca di integrare la conoscenza nei sistemi informatici al fine di risolvere problemi complessi che richiedono di norma un elevato livello di esperienza umana.

¹⁵ Participatory simulation è una metodologia che creando sinergie fra soggetti umani e agenti intelligenti artificiali da supporto a processi formativi e decisionali.

programmazione ad oggetti si è invece adattato a divenire uno strumento di sviluppo di sistemi multiagente. Infatti molti *toolkit* per la produzione di applicazioni ABMS, che forniscono funzionalità di base per gli agenti, sono fondati sul paradigma della programmazione orientata agli oggetti, utilizzando linguaggi come Java o C++.

Un agente può essere considerato come un “oggetto” con l’abilità di scegliere autonomamente le azioni da effettuare in base alla situazione in cui si trova. La programmazione *object oriented* è abbastanza adatta allo sviluppo di sistemi multiagente perché è possibile sfruttare le classi, cioè degli schemi per la creazione degli agenti e i metodi per definirne i comportamenti.

Grazie alla ricerca pubblica e ai numerosi investimenti oggi sono disponibili vari ambienti di sviluppo ABMS gratuiti; probabilmente il primo fra tutti è stato *Swarm* nato nel 1994, presso il Santa Fe Institute (New Mexico, U.S.A.), con l’obiettivo di creare un insieme di programmi e librerie standard da usare per simulare ed analizzare sistemi complessi nell’ambito delle scienze naturali e sociali. È stato poi seguito da numerosi concorrenti come *Netlogo* nato nel 1999 dall’unione di *StarLisp* e *Logo*, *Mason* e *Repast*. Esistono anche *toolkit* proprietari come *AnyLogic*.

5.3 Modelli per la simulazione

Lo sviluppo di tecnologie a supporto della realizzazione di modelli di evacuazione ha origine negli anni settanta [50], quando apparve per la prima volta in letteratura un modello di evacuazione di un aereo, GPSS nel 1970. Mentre l’applicazione di questi modelli al settore aeronautico non ebbe il successo sperato e rimase ferma per circa 20 anni, l’industria edilizia iniziò a

breve a manifestare un certo interesse nei confronti della realizzazione di modelli per l'evacuazione. Questo interesse è stato in parte trainato dal desiderio di ingegneri e architetti di implementare nuovi criteri di progettazione. Poiché i loro progetti sfidavano i tradizionali limiti di dimensioni e utilizzo dello spazio circostante si rivelò necessario operare delle modifiche anche sulla regolamentazione tradizionale relativa agli edifici.

Sempre più spesso, ingegneri e funzionari si ritrovarono a faccia a faccia con il problema di dimostrare che i nuovi concetti in materia di costruzioni fossero comunque sicuri e che gli occupanti sarebbero stati in grado di evacuare correttamente e in sicurezza nel caso in cui si fossero verificate delle emergenze. In questo modo la ricerca orientata alla quantificazione e alla modellazione del movimento del comportamento umano ha subito una forte spinta negli ultimi trent'anni.

5.3.1 Metodologie di modellazione

Per poter stimare la possibile evoluzione di un sistema in presenza di un incendio è necessario costruire un modello del sistema che ha lo scopo di:

- ✓ Mostrare l'influenza di ciascuna soluzione progettuale adottata;
- ✓ Determinare l'esistenza e l'estensione di zone pericolose all'interno della struttura;
- ✓ Valutare i possibili danni alle persone;
- ✓ Valutare i tempi di esodo delle persone dalla struttura considerata.

Ci sono diverse classificazioni dei modelli utilizzati per rappresentare l'evacuazione. Innanzitutto, in letteratura, per modellare il processo di

evacuazione da strutture quali edifici, stazioni ferroviarie e imbarcazioni, esistono due diversi approcci, corrispondenti a due grandi classi di modelli:

- modelli macroscopici;
- modelli microscopici.

Nei modelli *macroscopici* non vengono considerate le differenze tra i singoli individui né viene fatta una distinzione tra i comportamenti seguiti dalle singole entità.

Le persone sono considerate come un unico flusso di particelle soggette a determinate leggi fisiche e pertanto vengono trattate come un unico gruppo omogeneo dove sono considerate solo le caratteristiche comuni. In particolare, la maggior parte dei modelli che adottano tale approccio, noti come modelli flow-based, rappresentano lo scenario di emergenza attraverso una rete, i cui nodi corrispondono a determinate aree dell'ambiente considerato, e rappresentano le persone come un unico flusso capace di attraversare la rete seguendo determinate leggi. Studi recenti, tuttavia, hanno rilevato che l'analogia della folla con le particelle e i fluidi non è pienamente accettabile. Come notato da *Still* [52] le leggi sulla dinamica della folla devono includere il fatto che le persone non seguono le leggi della fisica; esse fanno una scelta nella loro direzione, non conservano la velocità e possono fermarsi e ripartire secondo la loro volontà. L'analogia con i fluidi contraddice anche alcuni comportamenti osservati, come la presenza di flussi multi - direzionali, la distribuzione non omogenea delle persone e il comportamento del gruppo. Per esempio, nell'evacuazione da una stanza con due uscite, può capitare che una sia affollata mentre l'altra sia non completamente utilizzata [53]. L'analogia con i fluidi, invece, suggerirebbe che entrambe le uscite siano utilizzate efficientemente.

Nei modelli *microscopici*, invece, le persone vengono modellate singolarmente, e ad ognuna di esse possono essere assegnate determinate



proprietà e regole di comportamento. Una persona può trovarsi in determinate situazioni in funzione del percorso scelto e del tempo che trascorre in ogni posizione. La scelta del percorso verso l'uscita avviene passo passo. Il percorso scelto può essere modificato in ogni momento in funzione di vari parametri, come, ad esempio, un blocco dovuto ad un incendio o una congestione di persone. Ogni individuo, inoltre, ha una serie di attributi personali che lo caratterizzano, quali, ad esempio, la sua velocità, il tempo di reazione, l'abilità fisica, le capacità cognitive, etc. Questi attributi vengono utilizzati per determinare il comportamento dei singoli individui nella condizione di emergenza e le varie interazioni tra di essi. Poiché si considerano gli individui singolarmente, ed il tempo di evacuazione può essere fortemente influenzato dalla tipologia di persone che si trovano nella condizione di emergenza e dalle interazioni che possono occorrere tra di esse, i modelli che utilizzano questo tipo di approccio sono basati sulle simulazioni.

Attualmente i modelli microscopici più utilizzati sono i cellular-automata e i modelli basati su agenti. L'elemento fondamentale che distingue i cellular-automata dai modelli basati su agenti è legato alla modellazione del comportamento delle persone.

Nei cellular-automata le azioni degli individui sono basate su conoscenza predefinita, ovvero sono stabilite da regole che ne modellano il comportamento in funzione delle condizioni locali in cui l'individuo si trova. I cellular-automata si caratterizzano per la loro modellazione dei diversi movimenti degli individui come risposte comportamentali al variare di certe condizioni locali. Un cellular-automata è definito come una griglia n-dimensionale regolare divisa in elementi discreti chiamati celle o posizioni e con una evoluzione nel tempo discretizzata. Con i cellular-automata, lo spazio dell'area di evacuazione è diviso in celle accessibili e celle non accessibili, ognuna delle quali con una dimensione uguale e fissata. Lo stato

di ogni cella è rappresentato da una serie di valori possibili e ha un comportamento dinamico. Questo stato è aggiornato simultaneamente per tutte le celle, in funzione dello stato delle celle vicine, nel precedente intervallo, e in accordo a specifiche regole locali. L'insieme delle regole locali è definito per controllare il movimento delle persone, o la transizione di stato di ogni cella. Poiché sono richieste solo regole che governano le relazioni tra celle vicine, l'uso dei cellular-automata risulta essere efficace per simulare fenomeni fisici in cui le relazioni sull'intero dominio considerato non sono note a priori. Uno dei problemi principali nell'utilizzo di modelli di questo tipo, è legato alla difficoltà di impostare le norme che regolano gli spazi associati agli individui. Tali norme, che in situazioni normali possono essere individuate più o meno dettagliatamente, tendono a essere difficilmente determinabili in situazioni di emergenza. Per questo motivo, l'output che deriva da questi modelli tende ad essere fortemente influenzato dalle capacità dell'utente. In molti casi, inoltre, per capire l'inizio e la velocità del moto di un individuo, bisogna prima comprendere il pattern di movimento del proprio gruppo. Per fare ciò, è necessario considerare i rapporti sociali tra i vari individui e le varie capacità di comunicazione. In altri termini, per una simulazione realistica del processo di evacuazione, non si può non tener conto dei vari legami esistenti tra le singole persone.

Per tale motivo molto spesso si ricorre a modelli basati su agenti in cui, invece, il comportamento di ciascuna persona è determinato, oltre che dalla conoscenza predefinita, anche dalla particolare esperienza personale e dalla comunicazione con le altre persone. Da questo punto di vista, i modelli basati su agenti permettono una più efficace rappresentazione di scenari di emergenza in cui risulta difficile codificare a priori (utilizzando regole locali) il comportamento delle singole individualità.

La modellazione basata su agenti rappresenta una potente tecnica di modellazione per simulare l'interazione tra individui in un sistema dinamico,

e si caratterizza per la sua capacità di simulare situazioni in cui il futuro è imprevedibile [54]. L'elemento caratterizzante dei modelli basati su agenti è la loro capacità di rappresentare esplicitamente i singoli individui, il loro comportamento e l'interazione tra di essi.

Nei modelli basati su agenti, l'evacuazione viene simulata attraverso un sistema multi-agente. Le singole persone vengono modellate con degli agenti che ricevono delle percezioni dal mondo esterno, comunicano tra di loro e agiscono, in funzione delle proprie conoscenze, seguendo un particolare comportamento. L'ambiente viene modellato per rappresentare gli elementi considerati di interesse per l'analisi del fenomeno. Si viene quindi a creare un micro-mondo artificiale, in cui è possibile modificare le caratteristiche ambientali o il comportamento degli agenti ed eseguire una serie di esperimenti. Una qualità importante della modellazione multi-agente è la sua capacità di integrazione e la sua flessibilità. È infatti possibile integrare, all'interno dello stesso modello, parametri quantitativi e parametri qualitativi che rappresentano il comportamento degli agenti. Inoltre, poiché ogni individuo è differente dagli altri, è sempre possibile aggiungere nuovi agenti con il proprio modello di comportamento, che vanno ad interagire con gli agenti esistenti.

L'elemento fondamentale che distingue i sistemi multi-agente dai cellular-automata è legato alla modellazione del comportamento degli individui. Nei cellular-automata, le azioni degli individui sono basate completamente su conoscenza predefinita, ovvero sono stabilite da regole pre-codificate.

Nei sistemi multi-agente, invece, le azioni di ogni agente dipendono, oltre che dalla conoscenza predefinita, anche dalle interazioni con il contesto specifico. In generale, si può affermare che nei cellular-automata gli individui rappresentati mancano della autonomia che, invece, caratterizza la definizione stessa di agente. Nell'ipotesi in cui sia possibile definire con

precisione le cosiddette leggi dell'universo, i modelli basati sui cellular-automata possono essere considerati potenzialmente simili ai modelli basati su agenti. Tuttavia, nella rappresentazione di un ambiente in cui il comportamento delle varie individualità non può essere codificato a priori, i sistemi multi-agente hanno potenzialmente un campo di applicazione maggiore.

Ancora, in linea generale, i modelli impiegati per simulare l'evacuazione possono essere raggruppati essenzialmente in due categorie:

- Quelli che tengono in considerazione solo il movimento dei passeggeri;
- Quelli che considerano contemporaneamente i movimenti dei passeggeri e i loro comportamenti.

Alla prima categoria appartengono quei modelli che si basano principalmente sulla capacità della struttura e dei suoi componenti di facilitare lo spostamento degli utenti. Questo tipo di modello, con riferimento anche al determinismo ambientale, è spesso indicato con il nome di “ball-bearing”; gli individui cioè sono trattati come oggetti non pensanti che rispondono in maniera automatica agli stimoli esterni. In questo modello, si assume che le persone inizino immediatamente ad evacuare un determinato ambiente al sopraggiungere del pericolo lasciando incompiuta qualunque attività stessero svolgendo. Inoltre la direzione e la velocità di uscita è definita da considerazioni soltanto di natura fisica (densità della popolazione, capacità dell'uscita). Un esempio può essere costituito da un caso specifico in cui la popolazione di un certo ambiente dimentica la propria individualità e si comporta in maniera “aggregativa” scegliendo in massa la via di fuga.

Alla seconda categoria appartengono, invece, quei modelli che prendono in considerazione non solo caratteristiche fisiche ma trattano l'individuo come un agente attivo, in grado di reagire a stimoli esterni e ai pericoli in maniera

individuale e personale, reagendo ad esempio al sopraggiungere di un incendio dopo un personale tempo di reazione, o scegliendo una determinata uscita di sicurezza. Un esempio di questo tipo di modello è EXODUS.

Il modello realizzato in questo lavoro, come sarà illustrato in seguito, appartiene alla seconda categoria. Il modello, infatti, considera che ogni gruppo di occupanti abbia un particolare comportamento in reazione agli stimoli, estrinsecato attraverso una serie di parametri caratteristici che lo portano a muoversi ad una certa velocità a scegliere l'uscita ritenuta opportuna e a farlo indipendentemente dalle scelte dagli altri gruppi.

Attualmente è disponibile un'ampia varietà di differenti metodologie di modellizzazione per poter rappresentare queste differenti categorie di modelli di evacuazione.

Questi modelli sono classificati in differenti categorie in base alle metodologie di base usate per rappresentarli:

- ✓ natura del modello;
- ✓ rappresentazione dell'ambiente di riferimento;
- ✓ prospettiva della popolazione;
- ✓ prospettiva del comportamento degli individui.

Ciascuno di questi aspetti sarà brevemente discusso nel seguito del paragrafo.

5.3.1.1 Natura del modello

In termini generali, i modelli che simulano le evacuazioni affrontano questo problema in tre differenti modi:

- ottimizzazione;
- simulazione;
- valutazione del rischio.



I principi di fondo di ciascuno di questi approcci influenzano le caratteristiche di ciascun modello.

Numerosi modelli assumono che gli occupanti evacuino nella maniera più efficiente possibile l'edificio, ignorando le attività secondarie e quelle non strettamente legate all'evacuazione. Le vie di fuga scelte durante l'evacuazione sono considerate ottimali, così come le caratteristiche del flusso di persone e le uscite. A questi aspetti tendono i modelli che tengono conto di un gran numero di persone e che trattano gli occupanti come un insieme omogeneo, quindi senza dare peso al comportamento specifico del singolo. Questo genere di modello è detto di Ottimizzazione.

In alternativa, i progettisti potrebbero tentare di rappresentare il comportamento e il movimento delle persone oggetto di studio, non solo per raggiungere specifici risultati, ma anche per rappresentare realisticamente i percorsi e le decisioni prese durante una evacuazione. Questi modelli sono detti di Simulazione. L'artificiosità del comportamento impiegata da questi modelli varia notevolmente, come l'esattezza dei risultati ottenuti. Questi modelli potrebbero essere usati per prevedere e/o ricostruire scenari di evacuazione reali. Possono anche essere usati per determinare i layout di configurazione che facilitano una rapida evacuazione o per determinare le procedure di evacuazione ottimali.

I modelli di valutazione del rischio tentano di identificare i rischi connessi con l'evacuazione, che possono derivare dalla presenza di fuoco o di un incidente, e di quantificarne il rischio.

5.3.1.2 Rappresentazione dell'ambiente di riferimento

Il metodo che un modello utilizza nel rappresentare l'ambiente di riferimento nel quale si esplica l'evacuazione è una importante caratteristica del modello, un aspetto chiave in grado di determinare il livello di dettaglio che il modello

è in grado di assicurare. Due metodi sono usualmente utilizzati per rappresentare tale ambiente oggetto di analisi:

- Fine networks;
- Coarse networks;

ovvero reti a granularità più o meno fine. In ciascun caso, lo spazio è suddiviso in sotto regioni, e ciascuna sotto regione è connessa con quelle confinanti. I due metodi si differenziano per una differente risoluzione.

Impiegando l'approccio basato sul *fine network*, lo spazio è suddiviso in una serie di nodi o piccoli tasselli. Ogni nodo o tassello rappresenta una porzione di spazio che può essere occupato da una persona. Le dimensioni di ogni nodo o tassello è solitamente fissato sulla dimensione media di una persona. La connettività tra nodi e tasselli è data dagli archi, che le persone simulate attraversano muovendosi in questo modo tra nodi e tasselli. Quindi, con i modelli *fine network*, le persone si spostano da un punto ad un altro all'interno di zone specifiche. La posizione di ciascuna persona risulta così essere nota.

Un modello può anche comporsi di migliaia di nodi ed essere suddiviso in un certo numero di aree anch'esse composte da moltissimi nodi. In questo modo è possibile rappresentare accuratamente la geometria di riferimento e gli ostacoli interni e localizzare ciascun individuo al suo interno in qualsiasi momento durante la simulazione dell'evacuazione. Un sistema basato sulle coordinate costituisce una estrema manifestazione del paradigma basato sul *fine network*.

All'interno del sistema la dimensione di un nodo si riduce fino a diventare molto piccola e le persone possono in questo modo occupare una serie di nodi.

Nell'approccio basato sul *coarse network* lo spazio è suddiviso in compartimenti o grandi regioni di spazio. La connettività tra elementi è garantita dalla presenza di archi. Le persone possono muoversi attraverso i compartimenti attraverso gli archi di collegamento. La localizzazione delle persone all'interno dei compartimenti non è esattamente identificabile, tuttavia può essere approssimata attraverso l'implementazione di opportuni algoritmi.

Questo metodo presenta delle difficoltà quando comprende movimenti e spostamenti locali come il sorpasso, la risoluzione di conflitti locali e la possibilità di evitare gli ostacoli. Questo accade perché l'esatta collocazione di un individuo non è rappresentata e quindi non possono essere fatti calcoli dettagliati sugli spostamenti individuali e sulle interazioni tra gli individui stessi. Questa limitazione dovrebbe essere tenuta presente quando si esaminano i modelli comportamentali.

Il beneficio principale di questo approccio è che riduce la quantità di elaborazione al computer, l'utilizzo della memoria, ed infine il tempo di simulazione richiesto; approssimazione tuttavia non necessaria per i problemi confinati in piccoli domini, data la presenza di calcolatori dotati di grandi capacità computazionali.

5.3.1.3 Prospettiva della popolazione

Un'altra importante caratteristica dei modelli di evacuazione consiste nel metodo che è utilizzato per rappresentare il comportamento delle persone coinvolte nei processi di evacuazione. Questo aspetto legato ai modelli di evacuazione è identificato come "prospettiva della popolazione". I modelli di evacuazione sono classificati come "Individuali" o "Globali" secondo il punto di vista della popolazione.

I modelli che hanno una prospettiva *individuale* rappresentano singolarmente ogni membro della popolazione e tracciano il percorso da essi effettuato all'interno dell'ambiente oggetto di simulazione. A ciascun membro della popolazione sono assegnati attributi individuali come età, sesso, indicatori di movimento. Anche se questo tipo di modello pone una forte enfasi sull'individuo non impedisce la formazione di gruppi o piccole coalizioni.

I modelli che hanno una prospettiva *globale* non riconoscono il singolo individuo ma delineano la popolazione come un insieme omogeneo, senza differenze individuali. Questi modelli descrivono i dettagli dell'evacuazione non sulla base di una singola specifica evacuazione, ma concentrandosi sulla totalità di persone che devono evacuare.

5.3.1.4 Prospettiva del comportamento degli individui

Per rappresentare il processo decisionale scelto dagli occupanti, il modello deve incorporare un opportuno metodo per determinare il comportamento degli occupanti. Usando le attuali tecniche di modellizzazione è possibile individuare cinque approcci comuni per la rappresentazione del comportamento degli occupanti nei modelli di simulazione:

- ✓ Functional analogy behavior;
- ✓ Implicit behavior;
- ✓ Rule based behavior;
- ✓ Artificial intelligence based behavior;
- ✓ Non behavioral component.

5.3.2 Wayfinding

Uno dei principali studiosi del comportamento umano riferito alle situazioni di emergenza, in particolare agli incendi, è il matematico inglese *Ed Galea*, direttore del gruppo ingegneristico sulla “fire safety” all’università di Greenwich. Galea ha ripreso il concetto di “wayfinding”, e lo ha implementato in un software simulativo di propagazione dell’evento di evacuazione.

In “Human Behaviour in Fire” (2009) si tratta analiticamente il tema dell’evacuazione introducendo un concetto molto importante, che può aiutare a comprendere meglio questo tema. Il concetto adottato è appunto “wayfinding”, che descrive il processo che permette a uomini o animali di orientarsi nello spazio fisico, per spostarsi da un luogo ad un altro.

Qui il termine descrive il processo in cui gli individui, trovandosi in un ambiente chiuso durante una situazione d’emergenza, tentano di trovare un percorso che li porta a una relativa sicurezza, di solito al di fuori dal suddetto ambiente.

Tale processo richiede che gli individui abbiano una mappa mentale o cognitiva dello spazio di riferimento. Si definisce *mappatura cognitiva* la procedura attraverso la quale l’individuo acquisisce, negozia, ricorda e decodifica informazioni spaziali; questo permette di individuare i principali punti di riferimento di tale spazio come porte, uscite esterne, stanze, scale, scale mobili, sculture, ascensori o simili. La conoscenza del percorso si sviluppa poi attraverso l’associazione di questi punti di riferimento tramite una mappa mentale dello spazio studiato. La conoscenza della configurazione spaziale è raggiunta quando la mappa è completa e le persone riescono ad individuare un sentiero che permette loro di spostarsi dal punto in cui si trovano verso la zona di sicurezza, pur attraversando zone prima sconosciute.



Golledge, studiando il processo di wayfinding in ambito urbanistico, ha ideato una serie di mappe ipotetiche e, distribuendo test a diversi soggetti, ha chiesto loro di individuare un itinerario dal punto A al punto B.

I risultati dei test hanno portato alla definizione di diversi criteri con i quali gli individui sottoposti alla prova hanno individuato il loro percorso.

I criteri più usati sono:

- minor distanza;
- minor tempo;
- minor numero di giri;
- percorso esteticamente migliore;
- primo percorso notato;
- percorso formato da più curve o da più giri;
- percorso differente rispetto al primo individuato.

Le distanze e i tempi rappresentano dunque i criteri più importanti attraverso i quali gli individui implementano tale processo.

Il lavoro di *Golledge* pone le basi per l'implementazione di algoritmi di wayfinding nei software di evacuazione, anche se in questo ambito alcuni criteri non risultano essere appropriati, come quello del percorso esteticamente migliore, ed altri sono in contrapposizione tra loro.

Galea ha quindi deciso di usare alcuni tra questi criteri nella costituzione di questi algoritmi: la distanza totale, il tempo totale, il numero di giri totali, la lunghezza del primo tratto, gli angoli di giro e il numero totale di punti decisionali. Egli ha chiamato la collezione di questi criteri “Building Wayfinding Criteria”, BWC.

5.3.3 Algoritmo di wayfinding

L'implementazione dell'algoritmo di ricerca del percorso realizzato dal professor Galea e dal suo gruppo col software "buildingEXODUS" prevede un processo a tre stadi:

1. Il primo step rappresenta la codifica delle informazioni spaziali dell'edificio in un grafico;
2. Il secondo step consiste nell'applicazione degli algoritmi di ricerca nel grafico per trovare possibili percorsi verso la destinazione e assegnare ai percorsi un costo basato sulle preferenze personali come "tempo minimo" o "distanza minore"; sono poi selezionati i percorsi che offrono il costo minore o un costo superiore al costo minore di non oltre il 10% e cioè quei percorsi che maggiormente rispondono alle preferenze delle persone;
3. Il terzo step è l'attuazione e il raffinamento del percorso; in questo step, seguendo il concetto di *Downs & Stea*, le persone si muovono lungo i percorsi scelti e riesaminano il percorso ad intervalli regolari e possono decidere di utilizzare percorsi alternativi se valutano che un percorso alternativo è più favorevole, per esempio se il percorso iniziale è molto congestionato o bloccato dal fuoco.

Procediamo ora alla descrizione estesa degli steps che compongono l'algoritmo.

5.3.3.1 Rappresentazione spaziale

La rappresentazione spaziale dell'edificio è ottenuta tramite la realizzazione di un grafo matematico le cui connessioni sono rappresentative dell'edificio. Gli elementi chiave dell'edificio sono le stanze, i corridoi, le uscite interne e le uscite esterne.

Ognuno di questi elementi è considerato un nodo nel grafo. Questi nodi sono collegati tramite archi che rappresentano le connessioni tra gli elementi dell'edificio.

5.3.3.2 Mappe cognitive

La seconda fase dell'algoritmo consiste nell'applicazione nei grafici di algoritmi di ricerca dei possibili percorsi per giungere alle destinazioni e nell'assegnazione di un costo ad ogni percorso basato su personali preferenze definite dai criteri prima esposti.

Il grafo di connettività è convertito in un grafo ad albero per consentire una ricerca più veloce dei percorsi sostenibili. I nodi d'uscita formano i nodi radice dell'albero. I nodi sono aggiunti nel seguente ordine:

1. nodi uscita;
2. nodi stanza;
3. uscite interne.

Questo ordine è seguito dalle persone che tenderanno a muoversi dalla stanza attuale ad una uscita interna, ad un'altra stanza e così via finché non si troveranno nella stanza finale dalla quale possono uscire dall'edificio.

L'albero finale, prodotto utilizzando questo metodo, è un esempio di grafo aciclico: una proprietà fondamentale di questo tipo di grafo è che ogni specifico percorso non può coinvolgere cicli, perciò una stanza non può essere visitata più di una volta nello stesso percorso.

Per edifici grandi e complessi l'albero prodotto utilizzando questo metodo può essere piuttosto esteso richiedendo lunghi tempi computazionali per cercare l'albero dei percorsi. Per risolvere questo problema possono essere utilizzati metodi euristici in modo da ridurre la dimensione dell'albero al costo di eliminare alcuni possibili percorsi. Ad ogni modo, l'euristica può

essere predisposta per eliminare i percorsi ad elevato costo. Ogni persona potrà avere accesso solo ad un sottoinsieme dell'albero basato sulla sua familiarità con l'edificio. Per esempio a una persona che ha familiarità solo con una uscita dell'edificio può essere consentito di cercare solo tra i percorsi dell'albero che sono connessi con quell'uscita.

Ad ogni percorso dell'albero è associata una funzione di costo; la funzione di costo è determinata prendendo una somma pesata per i criteri di preferenza normalizzata RPC, "Route Preference Criteria", associati ad ogni persona.

Prima che possa essere determinata la funzione di costo, devono essere determinati i criteri di preferenza dei percorsi, per esempio la lunghezza del percorso, il tempo del viaggio o il numero di svolte. Gli RPC sono determinati utilizzando dati appropriati per ogni percorso. In genere i criteri di preferenza dei percorsi sono determinati utilizzando valori esatti associati ad ogni percorso, tuttavia nella vita reale gli individui non possono essere in grado di determinare questi valori con certezza per cui deve essere introdotta una variabilità nella stima di questi parametri. Per esempio il sottogruppo 1 della popolazione avrà perfetta conoscenza dell'edificio e quindi sarà in grado di determinare i parametri precisamente, il sottogruppo 2 potrebbe essere meno familiare con l'edificio e quindi un certo quantitativo di "nebulosità" sarà introdotta nella determinazione dei parametri, mentre il sottogruppo 3 sarà non familiare con l'edificio e quindi un livello maggiore di variabilità sarà introdotta nella sua stima dei parametri.

Vengono suggeriti alcuni criteri di preferenza dei percorsi, "Route Preference Criteria", utilizzabili in questa fase dell'analisi:

1. DISTANZA – RPC_1 : rappresenta la lunghezza totale del percorso ed è la somma delle lunghezze di tutti i collegamenti tra i nodi di un percorso;

2. TEMPO – RPC_2 : il tempo necessario per percorrere il percorso è la somma del tempo utilizzato per coprire l'intera distanza del percorso e del tempo utilizzato nelle congestioni ad ogni nodo di uscita interno lungo il tragitto. Siccome la congestione in ogni uscita interna non è conosciuta all'inizio della simulazione, è utilizzato un livello arbitrario di congestione; utilizzando parametri come la velocità delle persone, la larghezza delle porte, la dimensione della coda costanti per tutte le persone e tutti i percorsi.

$$Tempo\ Stimato = RPC_2 = \frac{D}{S} + \frac{N*Q}{UFR*W} \quad (5.1)$$

Dove:

D = lunghezza del percorso [m];

S = velocità delle persone [m/s];

N = numero di porte lungo il percorso;

Q = dimensione della coda ad ogni porta [persone];

UFR = tasso di scorrimento alle porte [persone/(m/s)];

W = larghezza della porta [m];

3. ANGOLO MEDIO – RPC_3 : l'angolo medio del percorso è definito come la media degli angoli compiuti ad ogni intersezione del percorso. Questo angolo è sempre l'angolo interno dell'intersezione. L'angolo è compreso tra 0° e 180° , considerando 0 quando si torna indietro e 180° quando si procede dritto. Maggiore è l'angolo, più il percorso è dritto e quindi maggiormente preferibile;
4. SVOLTE – RPC_4 : ad ogni intersezione del percorso, calcolato l'angolo di intersezione, il numero di svolte è incrementato di uno per ogni intersezione con un angolo minore di 175° . Una intersezione con

angolo tra 175° e 180° è quasi dritta e quindi non è da considerare una curva. Percorsi con più svolte sono considerati peggiori di percorsi con meno curve come mostrato da *Sadalla & Magel*. Quindi più curve ha un percorso e meno preferibile è;

5. LUNGHEZZA DEL PRIMO TRATTO – RPC_5 : è la lunghezza del primo tratto di ogni percorso; più lungo è il primo tratto del percorso e più preferibile è il percorso;
6. PUNTI DI DECISIONE – RPC_6 : un nodo-stanza è considerato un punto di decisione se c'è più di una uscita interna in quella stanza, una uscita interna è considerata un punto di decisione se ci sono più di due uscite interne connesse ad essa. La somma dei punti di decisione lungo il percorso è il numero totale di punti di decisione del percorso. Più punti di decisione ci sono lungo il percorso e meno è preferibile il percorso.

Si procede poi alla normalizzazione di tutti gli RPC. Si identifica quindi per ogni criterio k il valore massimo di RPC_k , detto $MAX\ RPC_k$, e si divide ogni RPC_k per il $MAX\ RPC_k$.

Questo processo è ripetuto per tutti gli RPC ad eccezione di RPC_3 e RPC_5 , cioè i criteri “lunghezza del primo tratto” e “angolo medio”; infatti RPC_3 e RPC_5 , diversamente dagli altri criteri che sono ordinati inversamente alla preferenza, sono direttamente relazionati alla preferibilità del percorso, quindi maggiore è l'angolo medio del percorso o più è lungo il primo tratto, e più è preferibile il percorso. Questi RPC sono normalizzati identificando il valore massimo di RPC_k , sottraendo il massimo ad ogni RPC_k e dividendo la differenza per il massimo. Per RPC_3 , il massimo è assunto essere 180° così da usare l'angolo maggiore possibile.

Dopo avere determinato i valori normalizzati per i criteri di preferenza dei percorsi, e cioè \overline{RPC}_k^i , il costo associato ad ogni percorso i per la persona j ,

con pesi per le preferenze dei percorsi $W_{k,j}$ per ogni criterio di preferenza k , è calcolato come:

$$Cost_{i,j} = W_{1,j} * \overline{RPC_{1,j}} + W_{2,j} * \overline{RPC_{2,j}} + W_{3,j} * \overline{RPC_{3,j}} + \dots + W_{6,j} * \overline{RPC_{6,j}} \quad (5.2)$$

Dove $W_{1,j}$ rappresenta il peso personale associato all' $\overline{RPC_{k,j}}$ dalla persona j . La somma di tutti i pesi per la persona j deve risultare 100.

Il metodo appena descritto può essere schematizzato come segue:

1. Ricerca di $MAX\ RPC_i = MAX\ \{RPC_{i,j}\}$ fra quelli verso le uscite j ;
2. Normalizzazione RPC_k , da realizzare in maniera differente secondo il tipo di RPC che si considera:

a) Per RPC proporzionali alla preferenza:

$$\overline{RPC_{i,j}} = RPC_{i,j} / MAX\ RPC_i \quad (5.3)$$

b) Per RPC inversamente proporzionali alla preferenza, come “lunghezza del primo tratto” e “angolo medio”:

$$\overline{RPC_k} = 1 - RPC_j / MAX\ RPC_{i,j} \quad (5.4)$$

$$\overline{RPC_k} = (MAX\ RPC_{i,j} - RPC_j) / MAX\ RPC_{i,j} \quad (5.5)$$

3. Calcolo del costo del percorso dalla stanza i all'uscita j , dati i criteri di preferenza $W_{k,j}$, definito come:

$$Cost_{i,j} = W^1 * \overline{RPC_{i,j}^1} + W^2 * \overline{RPC_{i,j}^2} + W^3 * \overline{RPC_{i,j}^3} + W^4 * \overline{RPC_{i,j}^4} \quad (5.6)$$

4. Scelta del percorso: il percorso con il costo minore fornisce il miglior abbinamento tra le preferenze personali di ricerca del percorso di ogni persona.

In questo modo si determina una funzione di costo per ogni percorso basata sulla preferenza individuale di ogni persona. Il percorso con il costo minore fornisce il miglior abbinamento con le preferenze personali di ricerca del percorso di ogni occupante.

5.3.3.3 Attuazione del percorso e raffinamento

Il terzo step del processo coinvolge le persone che si muovono lungo il percorso selezionato. Possiamo avere due diversi approcci in questo momento:

1. ricerca del percorso non sequenziale, “Non Sequential Wayfinding” NSW;
2. ricerca del percorso sequenziale, “Sequential Wayfinding”, SW.

Nel modello NSW, di ricerca non sequenziale, tutte le persone prendono una decisione sul percorso dalla loro posizione iniziale e mantengono il percorso scelto durante tutta la simulazione. Utilizzando questo approccio non ci sono raffinamenti del percorso di uscita.

Nel modello SW, con ricerca sequenziale del percorso, le persone sono in grado di modificare il loro percorso basandosi sulla congestione o sulle condizioni del fuoco che incontrano durante il loro percorso verso l'uscita. Qui vengono incluse solamente le modifiche al percorso selezionato basandosi sulla congestione. La congestione impatta il criterio RPC_2 di preferenza del percorso cioè la stima del tempo richiesto per viaggiare lungo il percorso richiesto.

Ci sono due approcci che possono essere utilizzati per tenere in considerazione questo fatto:

1. Local – Prescribed, LP: usando questo approccio l'equazione usata per stimare RPC_2 è utilizzata ad ogni porta lungo il percorso, ad eccezione



della porta nella quale la persona è in quel momento, per stimare il tempo perso. Si assume quindi che la persona abbia accesso a tutte le informazioni sulla stanza in cui è; perciò conosce la dimensione della folla ad ogni uscita interna, la dimensione di ogni porta e il tasso di flusso per ogni porta. Per tutte le altre porte lungo il percorso si considerano i valori di default considerati in precedenza. Questa informazione è utilizzata per rivalutare le opzioni di percorso dalla posizione corrente.

2. Local – Local, LL: questo approccio è simile al precedente in tutto tranne che per l'uso dei valori di default per stimare il tempo richiesto per passare attraverso tutte le altre porte, per i quali le persone assumono che tutte le altre porte lungo i vari percorsi avranno condizioni simili alle porte nella stanza in cui si trovano.

Vengono infine implementate le decisioni prese usando un modello a nodi grossolani che passa le informazioni sul percorso degli individui in nodi affinati con il software simulativo building EXODUS.



BIBLIOGRAFIA CAPITOLO V

- [1] Sharifi, H., Zhang, Z., 2001. Agile manufacturing in practice application of a methodology. *International Journal of Operations and Production Management* 21(5/6), pp. 772-794.
- [2] Gou, L., Luh, P.B., Kyoya, Y., 1998. Holonic manufacturing scheduling: architecture, cooperation mechanism, and implementation. *Computers in Industry* 37, pp. 213-231.
- [3] Bussmann, S., Schild, K., 2001. An agent-based approach to the control of flexible production systems. *8th IEEE Int. Conf. on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA)*, pp. 169-174.
- [4] Shen, W., Norrie, D.H., 1999. Agent-based systems for intelligent manufacturing: a state-of-the-art survey. *KAIS* 1 (2), pp. 129-156.
- [5] Shen, W., Norrie, D.H., Barthès, J.P., 2001. Multi-agent systems for concurrent intelligent design and manufacturing. *Taylor and Francis, London, UK*.
- [6] Sacile, R., Montaldo, F., Paolucci, M., Boccalatte, A., 2000. Intelligent agents applied to manufacturing: the MAKE-IT approach.
- [7] Jennings, N.R., Wooldridge, M., 1998. Applications of intelligent agents, in: Jennings, N.R., Wooldridge, M.J. (Eds.), *Agent Technology: Foundations, Applications and Markets*, Springer, pp. 3-28.
- [8] Wooldridge, M., Jennings, N.R., 1995. Intelligent agent: Theory and practice, *Knowledge Engineering Review*, vol. 10, no. 2. pp. 115-152.
- [9] Parunak, H.V.D., 1996, Workshop Report: Implementing manufacturing agents, Sponsored by the SFA project of NCMS in conjunction with PAAM'96, NCMS.
- [10] Shen, W., Hao, Q., Yoon, J., Norrie, D.H., 2006. Applications of agent-based systems in intelligent manufacturing: An updated review, *Advanced Engineering Informatics* 20, pp. 415-431.
- [11] Colombetti, M., Fornara, N., 2003. Verdicchio, M., Linguaggio e realtà sociale nei sistemi di agenti artificiali, *Networks I*, pp. 48-67.
- [12] Russell, S., Norvig, P., 1995, *Artificial Intelligence: A modern approach*, Prentice Hall.
- [13] Booch, G., 1994, *Object-Oriented Analysis and Design* (second edition). Addison-Wesley: Reading, MA.
- [14] Maes, P., July 1994, Agents that reduce work and information overload. *Communications of the ACM*, vol. 37, no. 7, pp. 31-40.
- [15] Doyle, J., et al., 1996, Strategic directions in Artificial Intelligence, *ACM Computing Surveys*, 28/4, pp. 651-670.
- [16] Wooldridge, M., 2002, *An introduction to multiagent systems*. John Wiley & Sons.
- [17] Booch, G., 1994, *Object-Oriented Analysis and Design* (second edition). Addison-Wesley: Reading, MA.
- [18] Jennings, N.R., Sycara, K., Wooldridge, M., 1998, A Roadmap of Agent Research and Development. *Int. Journal of Autonomous Agents and Multi-Agent Systems*, 1, pp. 7-38.
- [19] Negroponte, N., 1995, *Being Digital*. Hodder and Stoughton.
- [20] Nwana, H.S., 1996, Software Agents: an Overview. *Knowledge Engineering Review*, Vol.11, No 3, pp. 1-40. Cambridge University Press, 1996.
- [21] Hewitt, C., 1977, Viewing control structures as patterns of passing messages, *Journal of Artificial Intelligence*, 8(3), pp. 323-364.
- [22] Maes, P., 1997, General Tutorial on Software Agents.
- [23] Weiss, G., 1999, *Multiagent Systems: A Modern Approach to Distributed Artificial Intelligence*. The Mit Press.
- [24] Franklin, S., Graesser, A., 1996, Is it an Agent, or just a Program? A Taxonomy for Autonomous Agents. *Proceedings of the Third International Workshop on Agent Theories, Architectures, and Languages*, Springer-Verlag.
- [25] Brustoloni, Jose C., 1991, Autonomous Agents: Characterization and Requirements. Carnegie Mellon Technical Report CMU-CS-91-204, Pittsburgh: Carnegie Mellon University.
- [26] Franklin, Stan, 1995, *Artificial Minds*, Cambridge, MA: MIT Press.
- [27] Hayes-Roth, B., 1995, An Architecture for Adaptive Intelligent Systems. *Artificial Intelligence: Special Issue on Agents and Interactivity*, 72, pp. 329-365.
- [28] Shoham, Y., 1993, Agent-oriented programming. *Artificial Intelligence* 60 (1), pp. 51-92.



- [29] Bates, J., 1994, The role of emotion in believable agents. *Communications of the ACM* 37 (7), pp. 122-125.
- [30] Bates, J., Bryan Loyall, A. and Scott Reilly, W., 1992, An architecture for action, emotion, and social behaviour. *Technical Report CMU-CS-92-144*, School of Computer Science, Carnegie-Mellon University, Pittsburgh, PA.
- [31] Ferber, J., 1994, Simulating with reactive agents. In Hillebrand, E. & Stender, J. (Eds.), *Many Agent Simulation and Artificial Life*, Amsterdam: IOS Press, pp. 8-28.
- [32] Maes, P., 1991, *Designing Autonomous Agents: Theory and Practice from Biology to Engineering and Back*. London: The MIT press.
- [33] Genesereth, M.R., Ketchpel, S. P., 1994, Software Agents. *Communications of the ACM* 37 (7), pp. 48-53.
- [34] Russell, S. and Subramanian, D., 1995, Provably bounded-optimal agents. *Journal of AI Research*, 2, pp. 575-609.
- [35] Wooldridge, M., 1999, Intelligent Agent, in *Multiagent Systems: A Modern Approach to Distributed Artificial Intelligence*, G. Weiss (Ed.), MIT Press, Cambridge, MA.
- [36] Hayes-Roth, F., Waterman, D.A., and Lenat, D.B., editors, 1983, *Building Expert Systems*. Addison-Wesley: Reading, MA.
- [37] Shortliffe, E. H., 1976, *Computer-Based Medical Consultations*. Elsevier Science Publishers B. V.: Amsterdam, The Netherlands.
- [38] Jennings, N. R. and Witting, T., 1992, ARCHON: theory and practice. In *Distributed Artificial Intelligence: Theory and Praxis* (eds N. Avouris and L. Gasser), pp. 179-195. ECSC, EEC, EAEC.
- [39] Jennings, N. R. et al., 1996, Using ARCHON to develop real-world DAI applications for electricity transportation management and particle acceleration control. *IEEE Expert*, 11 (6), pp. 60-88.
- [40] Durfee, E. H. and Lesser, V., 1989, Negotiating task decomposition and allocation using partial global planning. In Gasser, L. and Huhns, M., editors, *Distributed Artificial Intelligence Volume II*. Pitman Publishing: London and Morgan Kaufmann: San Mateo, CA, pp. 229-244.
- [41] Sycara, K., 1998, Multiagent systems. *AI Magazine*, 19 (2), pp. 79-92.
- [42] O'Hare, G. M. P. and Jennings, N. R., editors, 1996, *Foundations of Distributed Artificial Intelligence*. Wiley- Interscience: New York.
- [43] Bond, A. H. and Gasser, L., Eds, 1988, *Readings in Distributed Artificial Intelligence*. Morgan Kaufmann, Los Altos, California.
- [44] Chaib-draa, B., 1995, Industrial Applications of Distributed AI. *Communications of the ACM*, Vol. 38, No. 11, pp. 49-53.
- [45] Agha, G., 1986, *ACTORS: A Model of Concurrent Computation in Distributed Systems*. The MIT Press: Cambridge, MA.
- [46] Agha, G. and Hewitt, C., 1988, Concurrent programming using actors. In Y. Yonezawa and M. Tokoro, editors, *Object-Oriented Concurrent Programming*. MIT Press, pp. 37-57.
- [47] Davis, R. and Smith, R. G., 1983, Negotiation as a metaphor for distributed problem solving. *Artificial Intelligence*, vol. 20, pp. 63-100.
- [48] Sandholm, T., 1993, An implementation of the contract net protocol based on marginal cost calculations. In *Proceedings of the Eleventh National Conference on Artificial Intelligence*, Washington, pp. 256-262.
- [49] Huhns, M., Stephens, 1999, Multiagent Systems and Societies of Agents, in Weiss, G., *Multiagent Systems: A Modern Approach to Distributed Artificial Intelligence*. The Mit Press.
- [50] Samuele Domeniconi, *Implementazione di un modello simulativo per l'evacuazione di edifici in caso di emergenza*, 2009.
- [51] Information fusion for natural and man-made disasters. Llimas, J. Proc. of Int. Conf. on Information Fusion 2002. Vol. 1, pp. 570-576.
- [52] Still G. Crowd Dynamics. PhD thesis, University of Warwick, UK, 2000.
- [53] Low D. Following the crowd. *Nature*, (407):465-466, 2000.
- [54] Lampert R. Agent-based modeling as organizational and public policy simulators. In *Proceedings of The National Academy of Sciences of The United States of America*, 99, pages 7195-7196, 2002.
- [55] Jacques Ferber. *Multi-Agent Systems: An Introduction to distributed artificial intelligence*. Addison-Wesley, 1999.



SITOGRAFIA CAPITOLO V

- {1} <http://sra.itc.it>
- {2} www.sciencedirect.com
- {3} www.scholar.google.it
- {4} www.biblio.unina.it
- {5} www.springerlink.com
- {6} www.sirelib.unina.it
- {7} www.ieee.org
- {8} www.elsevier.com
- {9} www.jstor.org



CAPITOLO VI

LITERATURE REVIEW

Premessa

Numerosi sono gli studi condotti nel corso degli anni sulla Sicurezza Antincendio; questi hanno subito un'evoluzione tematica in linea con lo sviluppo dei nuovi approcci suggeriti dall'aggiornamento normativo.

In tal senso nel presente capitolo sono stati raccolti i principali contributi della letteratura scientifica alla Fire Safety Engineering, e sono stati riportati più nel dettaglio alcuni case study tra quelli ritenuti maggiormente significativi ai fini della costruzione del modello simulativo oggetto del presente lavoro di tesi.

6.1 Introduzione

Il continuo sviluppo dei concetti e della normativa riguardanti la progettazione degli edifici [32], ha portato gli studiosi del campo a porsi il problema di dimostrare in qualche modo che le loro teorie sono sicure e che gli occupanti potranno efficientemente evacuare da una struttura in caso di emergenza. Tradizionalmente, per soddisfare queste esigenze sono state utilizzate due tecniche:

- 1) dimostrazione di una evacuazione su larga scala;
- 2) adesione ai codici di costruzione prescrittivi.

La dimostrazione di una evacuazione su larga scala consiste in una esercitazione di una evacuazione utilizzando un target rappresentativo della popolazione all'interno della struttura. Tale approccio pone tuttavia notevoli problemi etici, pratici e finanziari, che mettono in discussione la sua fattibilità. I problemi etici riguardano un eventuale pregiudizio per i partecipanti e la mancanza di realismo insita in ogni scenario dimostrativo di una evacuazione. Poiché un volontario non può essere sottoposto ad un trauma, né al panico o a conseguenze fisiche, come invece accade in una situazione di emergenza reale con fumo e detriti, tale esercizio fornisce informazioni poco utili in merito all'idoneità del progetto nel caso di una vera emergenza.

A livello pratico, quando vengono eseguite prove di evacuazione, di solito viene condotta solo una prova di evacuazione singola. Ciò comporta una fiducia limitata al fatto che – con o senza successo – la prova rappresenti davvero la capacità di evacuazione della struttura. Inoltre, dal punto di vista della progettazione, un singolo test non fornisce informazioni sufficienti per organizzare il layout della struttura in funzione dell'efficienza di evacuazione ottimale.

La necessità di effettuare esperimenti ripetuti non deve stupire, visto che anche nelle condizioni sperimentali più controllate, nessuna esercitazione di evacuazione che coinvolge folle di persone reali produce risultati identici se l'esercitazione si ripete, anche se vengono utilizzate le stesse persone.

Quindi non è opportuno definire un tempo certo di evacuazione per una struttura, in quanto per qualsiasi combinazione struttura/popolazione/ambiente, si può avere una forma differente di distribuzione. Ciò che invece si può ottenere è la comprensione di quale sarà per il sistema struttura/popolazione/ambiente la probabilità di comportarsi dato un insieme di condizioni predefinite.

Infine, eseguire una singola dimostrazione di evacuazione può essere costoso, tenendo conto anche che la dimostrazione dell'evacuazione è di solito eseguita dopo che la struttura è stata costruita. Sarà dunque estremamente costoso implementare le eventuali modifiche di progettazione.

In tal senso non è conveniente utilizzare i mezzi sperimentali per valutare la progettazione degli edifici. Un'alternativa è quella di considerare le norme edilizie prescrittive per accettare/rifiutare in partenza una proposta di progettazione, sulla base della sua adesione ad un insieme di regole rigide stabilite nel codice.

Tuttavia, al fine di valutare pienamente l'efficienza potenziale di una evacuazione, è essenziale considerare aspetti configurazionali, ambientali, comportamentali e procedurali del processo di evacuazione.

Gli aspetti configurazionali sono quelli generalmente riguardanti i codici di costruzione tradizionali e comprendono la costruzione della struttura, il numero di uscite, la larghezza delle uscite, la distanza del percorso, etc.

In caso di incendio, devono poi essere necessariamente considerati gli aspetti ambientali. Questi includono i probabili effetti dannosi sugli occupanti

l'edificio come gas tossici ustionanti e irritanti e l'impatto della densità del fumo che viaggia con velocità sempre maggiore e riduce la capacità di trovare l'uscita.

Gli aspetti procedurali riguardano le azioni del personale, il livello di formazione degli occupanti sull'evacuazione, la conoscenza preventiva della struttura da parte degli occupanti, la segnaletica di emergenza, etc.

Infine, e forse l'aspetto più importante, devono essere considerate le probabili reazioni comportamentali degli occupanti. Queste includono aspetti quali la prima risposta degli occupanti al segnale di evacuazione, la velocità di fuga probabile, le interazioni famiglia/gruppo, etc.

I metodi tradizionali di progettazione edilizia non riescono ad affrontare tutti questi aspetti in maniera quantitativa, preferendo fare affidamento quasi totalmente sul giudizio e su una serie di regole prescrittive. Poiché tali norme prescrittive fanno quasi totalmente affidamento su considerazioni configurazionali come la lunghezza del percorso e la larghezza delle porte di uscita che non deve essere troppo stretta, inoltre, tali metodi trascurano il comportamento umano in caso di incendio o i probabili scenari, e dunque non è certo che essi offrano la soluzione ottimale in termini di efficienza di evacuazione.

I modelli di evacuazione basati sull'utilizzo del computer offrono la possibilità di superare tutte queste carenze, soddisfacendo le esigenze non solo dei progettisti, ma anche dei legislatori.

La ricerca sulla quantificazione e modellazione del comportamento umano è in corso da almeno 30 anni. La ricerca sull'evacuazione è un po' più recente; uno dei primi documenti pubblicati è apparso nel 1982 e da qui è nato l'interesse verso la modellazione delle uscite di emergenza in caso di incendio. I tentativi di simulare l'evacuazione sono essenzialmente ricondotti in due categorie di modelli, quelli che prendono in considerazione solo il



movimento umano e quelli che cercano di collegare il movimento con il comportamento.

La prima categoria di modelli concentra unicamente la propria attenzione sulla capacità di carico della struttura e dei suoi vari componenti. Questo tipo di modello viene spesso indicato come modello “ball-bearing” (anche denominato determinismo ambientale), in cui gli individui sono trattati come oggetti non pensanti che rispondono automaticamente a stimoli esterni. In tale modello si ipotizza che le persone inizino ad evacuare la struttura, cessando immediatamente qualsiasi altra attività. Inoltre, la direzione e la velocità di uscita sono determinati soltanto in base a considerazioni fisiche (ad esempio densità della popolazione, capacità delle uscite, etc.). Un caso estremo di questo tipo di modello ignora del tutto l’individualità della popolazione e la tratta come un’unica massa in uscita.

La seconda categoria di modelli prende in considerazione non solo le caratteristiche fisiche della struttura, ma tratta l’individuo come un agente attivo tenendo conto della sua risposta a stimoli come ad esempio i vari pericoli causati dal fuoco, il comportamento individuale come i tempi di reazione personale, la preferenza dell’uscita, etc.

Una varietà di metodologie di modellazione differenti è disponibile per rappresentare queste diverse categorie di modelli di evacuazione. All’interno della metodologie di modellazione adottata, ci sono anche un certo numero di modi in cui rappresentare la struttura, la popolazione e il comportamento della popolazione. Gli approcci disponibili hanno portato allo sviluppo di almeno 22 modelli diversi di evacuazione. In una certa misura la gamma di modelli riflette lo scopo per cui erano originariamente previsti, la natura del modello sviluppatore (ingegneristico/fisico/scientifico/sociale/architettonico) e la potenza del computer a disposizione degli sviluppatori.

Tutti i modelli in esame affrontano la problematica comune dell'evacuazione, ma in tre modi diversi: quello di ottimizzazione, simulazione, e valutazione del rischio (Figura 6.1). I principi di base relativi a ciascuno di questi approcci influenzano le relative capacità del modello.

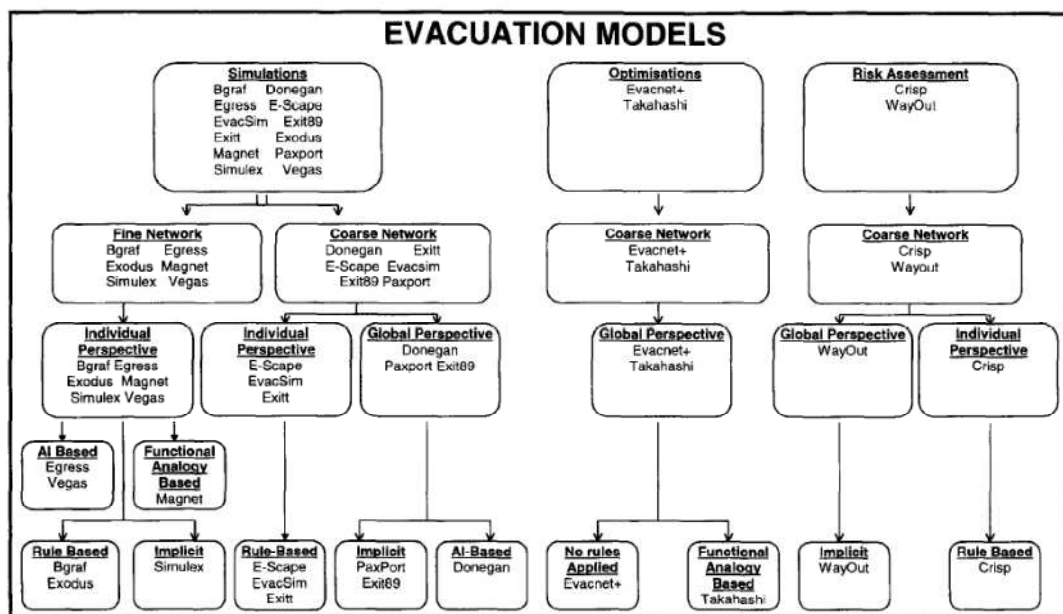


Figura 6. 1 – Principali metodologie per rappresentare l'evacuazione

Molti dei modelli assumono che gli occupanti evacuino nel modo più efficiente possibile, ignorando zone periferiche e attività non legate all'evacuazione. I percorsi di evacuazione considerati come ottimali sono le caratteristiche di flusso delle persone e le uscite. Questi modelli vanno bene quando si ha un gran numero di persone o quando si trattano gli occupanti come un insieme omogeneo, quindi non riconoscono il comportamento individuale. Tali modelli sono generalmente modelli di ottimizzazione (*Optimisation Models*).

In alternativa, i progettisti potrebbero tentare di rappresentare il comportamento e il movimento osservati durante una evacuazione non solo per ottenere risultati quantitativi accettabili, ma anche per rappresentare

realisticamente i percorsi e le decisioni prese durante l'evacuazione. Questi modelli sono definiti modelli di simulazione (*Simulation Models*). La sofisticazione comportamentale impiegata da questi modelli varia notevolmente, così come la precisione dei risultati.

Infine, i modelli di valutazione del rischio (*Risk Assessment Models*) tentano di identificare i pericoli associati con conseguente evacuazione da un incidente collegato ad un incendio e tentano di quantificare il rischio. Eseguendo numerose prove ripetute, possono essere valutate variazioni statisticamente significative associate a modifiche alla progettazione strutturale o idonee misure di protezione antincendio.

6.2 Classificazione delle fonti bibliografiche

Nel presente lavoro sono stati selezionati ed analizzati 200 articoli della letteratura scientifica pubblicati sulle maggiori riviste del settore quali: *Fire Safety Journal*, *Procedia Engineering*, *Building and Environment*, *Ocean Engineering*, *Computers & Industrial Engineering*, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, *Simulation Modelling Practice and Theory*, etc.

Le principali caratteristiche di tali fonti bibliografiche sono state poi schematizzate nella Tabella 6.1. In questa tabella su ogni riga è stato riportato – seguendo come ordine la cronologia della pubblicazione – uno dei 200 articoli oggetto di analisi, mentre sulle colonne sono state riportate le peculiarità di ciascun lavoro.

Nello specifico sono state riportate le seguenti caratteristiche:



- ✓ Numero di riferimento del lavoro nella bibliografia;
- ✓ Anno di pubblicazione;
- ✓ Aspetti teorici relativi al Fire Safety Management;
- ✓ Aspetti normativi relativi al Fire Safety Management;
- ✓ Rassegna dei metodi di simulazione dell'evacuazione;
- ✓ Analisi della Literature Review;
- ✓ Creazione di un modello di evacuazione, utilizzando rispettivamente un modello matematico/statistico, simulativo, geografico;
- ✓ Parametri considerati nel modello: di tipo strutturale, fisico, comportamentale;
- ✓ Studio teorico del comportamento, del panico e/o del movimento di folle;
- ✓ Studio teorico dell'incendio e/o delle protezioni antincendio in generale (estintori, uscite di emergenza, porte tagliafuoco, etc.);
- ✓ Tipologia di simulazione adoperata: ad agenti, discreta, dinamica, virtual reality, rappresentazione dei fumi e della visibilità durante l'incendio;
- ✓ Utilizzo di video e/o questionari per l'ottenimento di dati significativi;
- ✓ Tipo di simulatore utilizzato: B-Fires, BuildingExodus, Exitus, CEMPS, CFD: FDS/FLUENT/PHOENICS, EVACSIM/EvacTunnel, MFIRE, ORSET, SGEM, AvatarSim, AutoEscape, ESM, Simulex/CFDOM, EvacuationNZ, MACES + PMFserv, Nomad, IDA Road Tunnel Ventilation, Netlogo, MASSEgress, AnyLogic, MATSim;
- ✓ Sviluppo di Case Study;
- ✓ Analisi numerica e/o grafica dei risultati ottenuti.

Infine sono stati riportati in maniera più specifica alcuni Case Study ritenuti significativi ai fini dello sviluppo del modello presentato nel capitolo 7.



Tabella 6. 1 – Principali caratteristiche delle fonti bibliografiche

Numero Bibliografia	Anno	Aspetti teorici sul FSM	Aspetti normativi sul FSM	Rassegna Metodi di Simulazione Evacuazione	Literature Review	Creazione Modello Evacuazione			Parametri del modello			Studio del Comportamento / Panico / Movimento folla	Studio dell'incendio e/o delle Protezioni Antincendio	Simulazione					Video/Questionari	Simulatore utilizzato																				Case Study	Analisi dei risultati						
						Matematico / Statistico	Simulativo	Geografico	Strutturali	Fisici	Comportamentali			Ad Agenti	Fumi e Visibilità Incendio	Discreta	Dinamica	Virtual Reality		B - Fires	BuildingExodus	Exitus	CEMPS	CFD: FDS / FLUENT / PHOENICS	EVACSIM / EvacTunnel	MFIRE	ORSET	SGEM	AvatarSim	AutoEscape	ESM	Simulex / CFDOM	EvacuatioNZ	MACES + PMFserv	Nomad	IDA Road Tunnel Ventilation	Netlogo	MASSEgress	AnyLogic			MATSim					
10	1979				x							x																																			
53	1980						x			x	x			x																												x	x				
23	1992						x				x			x																																	
101	1993				x		x				x	x		x																																	
97	1993	x											x																																		
139	1993	x			x																																										
140	1993	x	x										x																																		
141	1993	x											x																																		
82	1994	x	x										x																																		
83	1994	x	x										x																																		
144	1994	x											x																																		
1	1996							x		x																																					
152	1996					x	x			x																																					
158	1996					x	x			x																																					
135	1996					x																																									
173	1997				x		x		x	x	x	x	x	x																																	
33	1998				x	x	x			x	x																																				
84	1998	x	x		x							x																																			
127	1998	x			x							x																																			
92	1999	x										x	x																																		
89	1999	x	x									x	x																																		
32	1999			x	x							x																																			
75	1999	x			x																																										
77	1999	x			x							x																																			
86	1999	x			x																																										
94	1999	x			x							x																																			



Numero Bibliografia	Anno	Aspetti teorici sul FSM		Aspetti normativi sul FSM	Rassegna Metodi di Simulazione Evacuazione	Literature Review	Creazione Modello Evacuazione		Parametri del modello		Studio del Comportamento / Panico / Movimento folla	Studio dell'incendio e/o delle Protezioni Antincendio	Simulazione				Video/Questionari	Simulatore utilizzato																				Case Study	Analisi dei risultati					
		Matematico / Statistico	Simulativo				Geografico	Strutturali	Fisici	Comportamentali			Ad Agenti	Fumi e Visibilità Incendio	Discreta	Dinamica		Virtual Reality	B - Fires	BuildingExodus	Exitus	CEMPS	CFD: FDS / FLUENT / PHOENICS	EVACSIM / EvacTunnel	MFIRE	ORSET	SGEM	AvatarSim	AutoEscape	ESM	Simulex / CFDOM	EvacuatioNZ	MACES + PMFserv	Nomad	IDA Road Tunnel Ventilation	Netlogo	MASSegress			AnyLogic	MATSim			
133	1999					x	x			x	x	x																														x		
114	2000					x	x	x			x	x																														x	x	
177	2000					x							x																														x	
131	2000	x				x							x																															
145	2000	x				x																																						
39	2001					x		x			x	x	x		x																												x	x
155	2001					x		x			x	x																																
178	2001					x							x																															
63	2001					x	x				x																																x	x
15	2001					x		x			x	x	x		x																													
123	2002					x							x																															
79	2002	x				x																																						
7	2003					x	x	x			x																																	
104	2003					x				x	x																																	
48	2003					x	x		x		x	x	x		x																													
102	2003					x		x		x		x	x																															
95	2003	x	x			x							x																															
130	2003	x				x							x																															
142	2003					x	x																																					
143	2003					x	x																																					
91	2004					x	x						x																															
168	2004					x		x					x																															
179	2004					x							x																															
40	2004					x	x					x																																
93	2004	x											x	x																														
128	2004	x				x							x																															
132	2004	x											x																															
41	2005					x		x					x																															



Numero Bibliografia	Anno	Aspetti teorici sul FSM	Aspetti normativi sul FSM	Rassegna Metodi di Simulazione Evacuazione	Literature Review	Creazione Modello Evacuazione			Parametri del modello			Studio del Comportamento / Panico / Movimento folla	Studio dell'incendio e/o delle Protezioni Antincendio	Simulazione				Video/Questionari	Simulatore utilizzato																				Case Study	Analisi dei risultati																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
						Matematico / Statistico	Simulativo	Geografico	Strutturali	Fisici	Comportamentali			Ad Agenti	Fumi e Visibilità Incendio	Discreta	Dinamica		Virtual Reality	B - Fires	BuildingExodus	Exitus	CEMPS	CFD: FDS / FLUENT / PHOENICS	EVACSIM / EvacTunnel	MFIRE	ORSET	SGEM	AvatarSim	AutoEscape	ESM	Simulex / CFDOM	EvacuatioNZ	MACES + PMFserv	Nomad	IDA Road Tunnel Ventilation	Netlogo	MASSEgress			AnyLogic	MATSim																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
147	2005				x		x			x				x			x																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								



Numero Bibliografia	Anno	Aspetti teorici sul FSM		Aspetti normativi sul FSM	Rassegna Metodi di Simulazione Evacuazione	Literature Review	Creazione Modello Evacuazione			Parametri del modello			Studio del Comportamento / Panico / Movimento folla	Studio dell'incendio e/o delle Protezioni Antincendio	Simulazione					Video/Questionari	Simulatore utilizzato																		Case Study	Analisi dei risultati			
		Matematico / Statistico	Simulativo				Geografico	Strutturali	Fisici	Comportamentali	Ad Agenti	Fumi e Visibilità Incendio			Discreta	Dinamica	Virtual Reality	B - Fires	BuildingExodus		Exitus	CEMPS	CFD: FDS / FLUENT / PHOENICS	EVACSIM / EvacTunnel	MFIRE	ORSET	SGEM	AvatarSim	AutoEscape	ESM	Simulex / CFDOM	EvacuatioNZ	MACES + PMFserv	Nomad	IDA Road Tunnel Ventilation	Netlogo	MASSegress	AnyLogic			MATSim		
162	2008				x	x	x	x		x	x	x				x	x																						x	x			
99	2008	x	x			x						x																															
103	2008				x			x	x	x	x				x	x																								x			
164	2008	x				x							x																											x			
160	2008						x	x		x	x					x																								x	x		
175	2008					x	x	x			x	x	x		x																									x	x		
172	2008				x	x							x																														
106	2008							x		x	x																														x		
174	2008				x	x		x		x	x	x			x																									x	x		
110	2008				x	x	x			x	x							x																							x		
108	2008				x	x																																			x		
119	2008					x	x	x		x	x						x																							x	x		
126	2008					x	x			x	x						x																								x	x	
134	2008					x		x	x	x	x				x																										x	x	
109	2009				x	x		x		x	x	x			x																										x	x	
100	2009					x							x																														
90	2009					x		x		x	x	x			x																											x	x
80	2009							x		x	x			x		x																										x	
60	2009				x	x	x			x	x				x	x																									x		
44	2009					x								x																												x	
73	2009					x							x																													x	
200	2009					x		x		x	x	x	x																													x	x
38	2009					x		x		x	x					x																										x	x
34	2009					x	x				x																															x	x
12	2009					x	x	x			x																															x	x
13	2009					x	x		x		x	x																														x	x
191	2009											x																														x	
199	2009					x	x	x		x	x	x					x																									x	x



Numero Bibliografia	Anno	Aspetti teorici sul FSM		Aspetti normativi sul FSM	Rassegna Metodi di Simulazione Evacuazione	Literature Review	Creazione Modello Evacuazione		Parametri del modello			Studio del Comportamento / Panico / Movimento folla	Studio dell'incendio e/o delle Protezioni Antincendio	Simulazione					Video/Questionari	Simulatore utilizzato																				Case Study	Analisi dei risultati					
		Matematico / Statistico	Simulativo				Geografico	Strutturali	Fisici	Comportamentali	Ad Agenti			Fumi e Visibilità Incendio	Discreta	Dinamica	Virtual Reality	B - Fires		BuildingExodus	Exitus	CEMPS	CFD: FDS / FLUENT / PHOENICS	EVACSIM / EvacTunnel	MFIRE	ORSET	SGEM	AvatarSim	AutoEscape	ESM	Simulex / CFDOM	EvacuatioNZ	MACES + PMFserv	Nomad	IDA Road Tunnel Ventilation	Netlogo	MASSegress	AnyLogic	MATSim							
20	2009					x							x							x																					x					
27	2009				x	x																																								
28	2009	x			x	x	x			x	x																															x				
149	2009						x			x	x						x																									x	x			
65	2009					x							x																																	
157	2009				x	x	x			x	x						x																													
188	2009					x							x																													x	x			
69	2009					x							x																													x	x			
74	2009	x																																									x			
113	2009					x	x					x	x																														x	x		
122	2009					x	x					x	x																														x	x		
129	2009					x							x																														x	x		
136	2009	x				x																																						x		
115	2009					x	x			x	x	x			x																												x	x		
66	2010					x		x		x	x	x				x																											x	x		
29	2010					x		x				x																																x	x	
24	2010					x	x	x		x	x						x																										x	x		
17	2010					x		x	x	x	x	x				x																											x	x		
3	2010					x	x																																					x	x	
81	2010					x							x																																	
45	2010					x							x	x																																
70	2010					x							x																																	
67	2010					x	x	x		x	x	x																																x	x	
181	2010					x		x		x	x	x	x																															x	x	
120	2010					x	x							x				x																										x	x	
148	2010					x								x																														x	x	
194	2010					x		x																																						
62	2010					x	x																																						x	x

392



Numero Bibliografia	Anno	Aspetti teorici sul FSM		Aspetti normativi sul FSM	Rassegna Metodi di Simulazione Evacuazione	Literature Review	Creazione Modello Evacuazione		Parametri del modello			Studio del Comportamento / Panico / Movimento folla	Studio dell'incendio e/o delle Protezioni Antincendio	Simulazione					Video/Questionari	Simulatore utilizzato																				Case Study	Analisi dei risultati																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
		Matematico / Statistico	Simulativo				Geografico	Strutturali	Fisici	Comportamentali	Ad Agenti			Fumi e Visibilità Incendio	Discreta	Dinamica	Virtual Reality	B - Fires		BuildingExodus	Exitus	CEMPS	CFD: FDS / FLUENT / PHOENICS	EVACSIM / EvacTunnel	MFIRE	ORSET	SGEM	AvatarSim	AutoEscape	ESM	Simulex / CFDOM	EvacuatioNZ	MACES + PMFserv	Nomad	IDA Road Tunnel Ventilation	Netlogo	MASSegress	AnyLogic	MATSim																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
118	2011				x	x	x			x	x																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				</



Numero Bibliografia	Anno	Aspetti teorici sul FSM		Rassegna Metodi di Simulazione Evacuazione	Literature Review	Creazione Modello Evacuazione			Parametri del modello			Studio del Comportamento / Panico / Movimento folla	Studio dell'incendio e/o delle Protezioni Antincendio	Simulazione					Video/Questionari	Simulatore utilizzato																		Case Study	Analisi dei risultati					
						Matematico / Statistico	Simulativo	Geografico	Strutturali	Fisici	Comportamentali			Ad Agenti	Fumi e Visibilità Incendio	Discreta	Dinamica	Virtual Reality		B - Fires	BuildingExodus	Exitus	CEMPS	CFD: FDS / FLUENT / PHOENICS	EVACSIM / EvacTunnel	MFIRE	ORSET	SGEM	AvatarSim	AutoEscape	ESM	Simulex / CFDOM	EvacuatioNZ	MACES + PMFserv	Nomad	IDA Road Tunnel Ventilation	Netlogo			MASSEgress	AnyLogic	MATSim		
197	2013				x	x	x				x	x											x																	x	x			
193	2013				x		x		x	x	x			x																										x	x			
64	2013			x	x	x	x		x	x			x				x																								x	x		
190	2013				x		x		x	x			x																													x	x	
185	2013				x			x		x																																x	x	
183	2013				x							x																															x	

6.3 Case Study della letteratura: simulazione del comportamento umano durante un incendio

[66] Ellen-Wien Augustijn-Becker, Johannes Flacke, Bas Retsios, *Investigating the effect of different pre-evacuation behavior and exit choice strategies using agent-based modeling*, Procedia Engineering 3 (2010) 23-35.

In questo lavoro è stato utilizzato un modello di evacuazione ad agenti per simulare il comportamento durante una evacuazione di un supermercato cinese e in una Università internazionale nei Paesi Bassi. I dati sulla scelta dell'uscita e sul comportamento durante la fase di pre-evacuazione sono stati raccolti attraverso questionari e analisi della letteratura. Un'analisi di sensibilità è stata poi condotta per verificare l'influenza della variazione nel tempo di pre-evacuazione e nella scelta dell'uscita sul tempo di evacuazione. I risultati per il supermercato sono influenzati dalla scelta dell'uscita a causa della forma lunga e stretta dell'edificio. I risultati della simulazione per l'università sono invece più dipendenti dal comportamento degli agenti che compiono l'evacuazione.

I modelli di evacuazione ad agenti (ABM) richiedono una valutazione o un'analisi empirica del comportamento degli evacuati. Diversi metodi sono stati utilizzati per determinare il comportamento dell'agente, tra cui i giochi di ruolo e i ragionamenti deduttivi. La comprensione del comportamento umano e di quello sociale è fondamentale nel determinare quali comportamenti devono essere assegnati agli agenti simulati, e come raggruppare il loro comportamento. Quando si applica l'ABM per gli studi sull'evacuazione, una delle sfide da affrontare è come definire i gruppi (eterogeneità) e che comportamento questi gruppi devono visualizzare.

Sono necessari dati affidabili sui diversi gruppi di sfollati e sul loro comportamento per una completa validazione del modello. Per la modellazione dell'evacuazione si considerano i seguenti tipi di dati:

- Tempo di ritardo (tempo di pre-evacuazione);
- Velocità nel camminare;
- Caratteristiche degli occupanti (reazioni tra i diversi tipi di persone);
- Azioni durante l'evacuazione;
- Effetti di ostacoli nei percorsi;
- Scelta dell'uscita.

Nel caso del supermercato, la struttura consiste in un singolo piano, di lunghezza pari a 260 m, con 9 differenti sezioni di acquisto posizionate perpendicolarmente al corridoio generale che percorre la clientela; sono presenti 9 uscite di emergenza. I dati relativi al comportamento sono stati collezionati grazie a questionari, per un totale di 500 risposte e sono stati registrati massimo 2580 acquirenti durante l'orario di punta, che va dalle ore 16.00 alle ore 17.00.

Sono costantemente disponibili 9 persone addette all'emergenza, mentre alcuni acquirenti conoscono la posizione delle uscite di emergenza e altri no. Il personale non è stato modellato separatamente in questo lavoro.



Figura 6. 2 – Layout del supermercato

Nel secondo caso considerato, l'università internazionale è sita in un edificio di 6 piani. Su ogni piano ci sono due uscite di emergenza, che si trovano nei pressi della toilette, e una scala principale che funziona come uscita di

sicurezza aggiuntiva durante le evacuazioni. Le uscite di emergenza possono essere utilizzate anche in situazioni normali come collegamenti. La struttura dell'edificio è circolare con un corridoio in mezzo e gli uffici e le aule a sinistra e a destra. Gli occupanti di questo edificio hanno in generale familiarità con questo edificio e sono pienamente consapevoli di dove sono posizionate le uscite. Sono state poi contate le persone presenti in diversi momenti della giornata. Sono stati contati un massimo di 114 occupanti per il piano 1, dove la metà sono membri del personale l'altra metà sono studenti. Anche in questo caso i dati relativi al comportamento sono stati ricavati da 63 questionari.

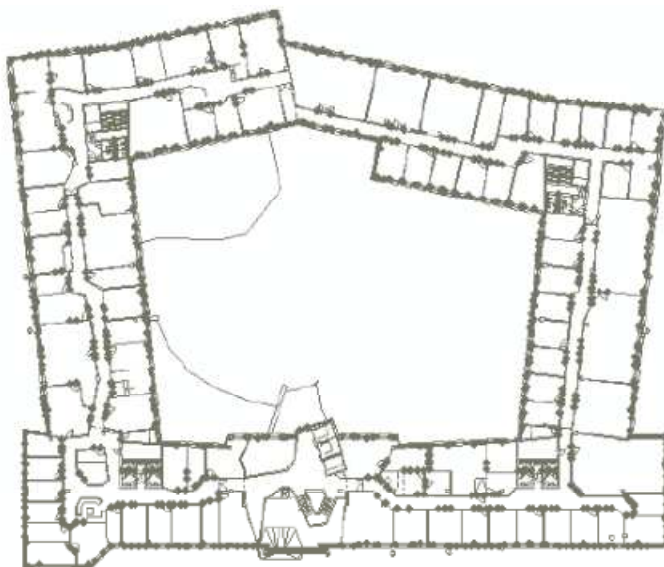


Figura 6. 3 – Layout dell'edificio universitario

Dopo ciò, è stato creato un prototipo del modello utilizzando Netlogo: gli agenti individuati sono i “leavers”, i “followers” e gli “officers” e l'evacuazione ha inizio nel momento in cui scatta l'allarme antincendio. Per entrambi i casi si ha che gli agenti sono distribuiti casualmente nell'area oggetto di studio, tutti sentono l'allarme e reagiscono ad esso.



Con riferimento al comportamento degli agenti, si ha che gli Officers sono formati per le emergenze sia nel caso del supermercato che dell'università; per questo motivo essi interagiranno con le altre persone, aiutando coloro i quali non hanno ancora iniziato l'evacuazione (in un tempo definito Interaction Time) e solo quando il piano sarà vuoto usciranno dalla struttura. I Leavers invece sono gli acquirenti/studenti che riescono a scappare da soli; di fondamentale importanza ai fini del loro comportamento nelle emergenze è il tempo di pre-evacuazione (preso dalla letteratura) e la scelta dell'uscita (derivata dalle risposte ai questionari). Infine, i Followers rappresentano quel gruppo di persone che per svariati motivi non riescono a scappare in maniera indipendente ma insieme ad un Officer o ad un Leaver; per tale motivo essi non si muoveranno se nelle vicinanze non è presente qualcuno che li aiuti ad uscire dalla struttura e dunque per essi non ci saranno uscite preferenziali o tempi di pre-evacuazione.

Per ogni agente la velocità di cammino è compresa tra 1.2 m/s e 1.8 m/s e ogni agente occupa uno spazio di 0.3 x 0.3 metri, che ovviamente non può essere occupato contemporaneamente da un altro. Il supermercato è diviso in compartimenti, ciascuno assegnato ad un Officer specifico; questi dovrà rimanere in tale area fino a che non sarà stata evacuata da tutti, mentre nell'università gli Officers si muovono tra le stanze e i corridoi. Essi si fermano solo durante il “tempo di comunicazione” con le altre persone. I movimenti dei Leavers invece sono liberi nello spazio, essi possono scontrarsi con ostacoli o altre persone e si muoveranno seguendo il percorso più breve. I movimenti dei Followers, infine, dipenderanno dalla distanza da un'uscita: quando un Follower si trova vicino ad una uscita, si muoverà da solo verso essa, quando invece sarà lontano, si muoverà in maniera casuale e confusa fino a che non incontrerà un Officer o un Leaver, che lo “raccolglieranno” e lo condurranno all'uscita.

Dopo la costruzione del modello è stata condotta un'analisi di sensitività per valutare gli effetti delle scelte effettuate sul tempo totale di evacuazione; le variabili testate sono il tempo di pre-evacuazione e la preferenza dell'uscita. Per entrambi gli edifici si ipotizza che tutte le uscite siano agibili.

Nel caso dell'università si è avuto che la scelta dell'uscita non influenza fortemente il tempo di evacuazione massimo, questo perché la distanza dall'uscita principale da qualsiasi punto dell'edificio non è tanto maggiore di quella dall'uscita più vicina.

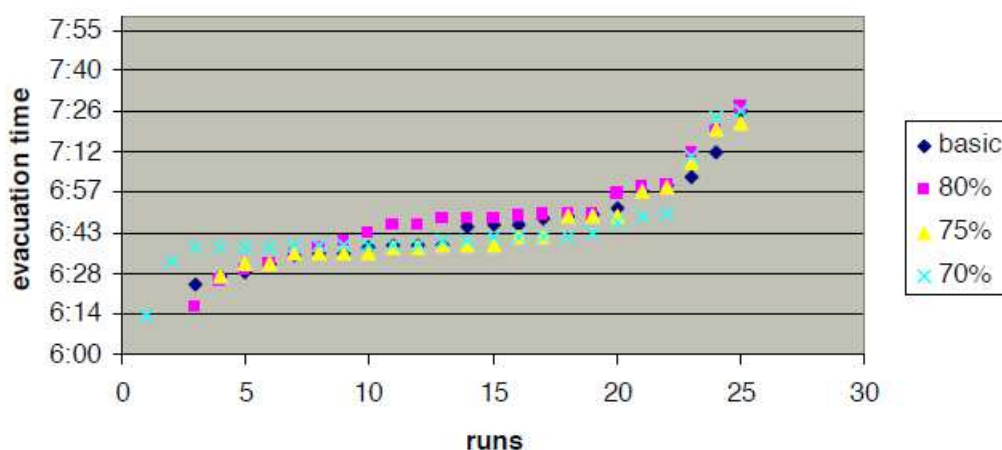


Figura 6. 4 – Risultati nel caso della variazione della preferenza per l'uscita più vicina

Nel caso del supermercato sono stati considerati 3 scenari: scappare verso l'uscita più vicina, verso un'uscita visibile o verso l'entrata principale; quest'ultimo caso ha presentato risultati differenti dagli altri due, ciò a causa della forma stretta e lunga dell'edificio e dalla distanza relativamente lunga dell'entrata principale.

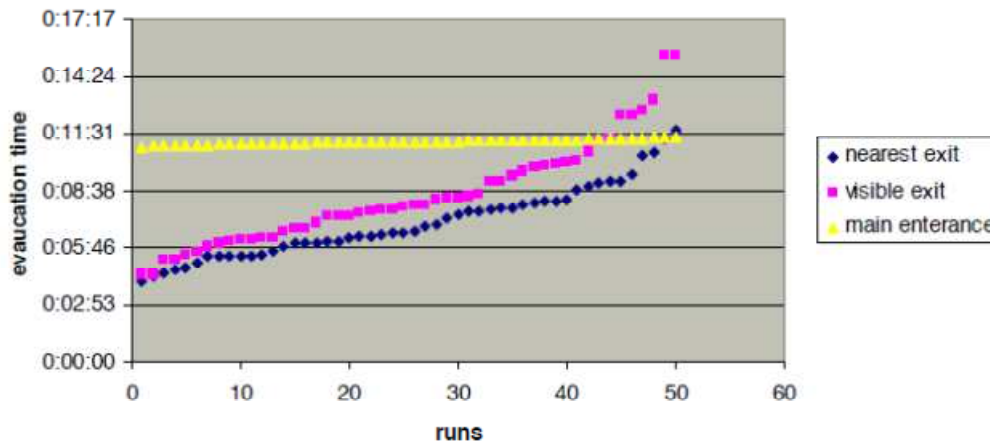


Figura 6. 5 – Confronto tra la scelta delle uscite per il supermercato

Per il caso dell'università è stata poi condotta un'analisi per differenti tempi di pre-evacuazione; i risultati mostrano un tempo di evacuazione, per le impostazioni di base, tra i 6:25 - 7:26 minuti e per le impostazioni modificate, tra 6:21 - 7:16 minuti. Lo scenario di base consente di giungere ad un tempo di evacuazione massimo più elevato. Tuttavia, il valore medio per entrambe le serie di prove rimane lo stesso (06:45 minuti).

Per l'università è stato effettuato un confronto relativamente al tempo di evacuazione per i singoli agenti. Sono state costruite tre curve, una relativa alle impostazioni di base (tempo di pre-evacuazione per il personale pari a 0-246, media pari a 70 secondi e il 92% delle preferenze per l'uscita più vicina e tempo di pre-evacuazione per gli studenti pari a 8-200, media pari a 76 secondi e l'82% delle preferenze per l'uscita più vicina), una con uno scenario in cui il tempo di pre-evacuazione è come specificato prima, ma la preferenza per l'uscita più vicina è cambiata al 75% per entrambi i gruppi e una curva con un secondo scenario in cui la preferenza per l'uscita rimane invariata, ma il tempo di pre-evacuazione sia per il personale che per gli studenti è cambiato a 0 - 180 (media 65).

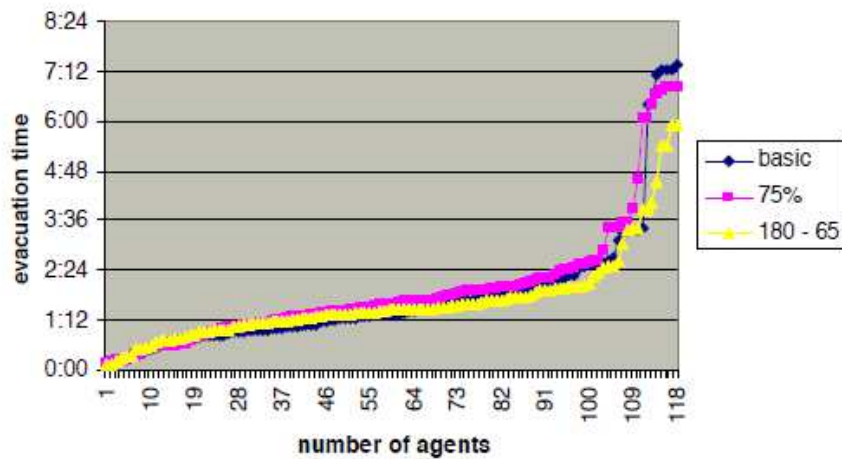


Figura 6. 6 – Confronto tra le impostazioni di base con una minore preferenza per l'uscita più vicina (75%) e tempi di pre-evacuazione minori (180 - 65) per l'università

Le tre curve mostrano una grande somiglianza. La curva relativa alla minor preferenza per l'uscita più vicina è leggermente superiore rispetto alle altre due. Questo perché il tempo impiegato per camminare verso l'uscita principale è più lungo. Abbassare il tempo di pre-evacuazione massimo e medio non sempre porta ad un tempo di evacuazione più breve. La parte fondamentale sono gli ultimi agenti a evacuare (compresi gli addetti all'evacuazione). In sintesi, il comportamento degli addetti all'evacuazione per l'edificio universitario è fondamentale per il tempo di evacuazione totale. Il tempo trascorso cercando eventuali persone lasciate indietro è lungo rispetto al tempo necessario per raggiungere l'uscita e anche la comunicazione tra gli agenti può essere un fattore importante. Ancora, la geometria dell'edificio è molto importante. Essa influenza la distanza tra le uscite e l'importanza della scelta dell'uscita, ma è anche importante per quanto riguarda il comportamento degli agenti.

[102] Yang Lizhong, Fang Weifeng And Fan Weicheng, *Modeling Occupant Evacuation using Cellular Automata – Effect of Human Behavior and Building Characteristics on Evacuation*, Journal Of Fire Sciences, VOL. 21 – May 2003.

Questo studio presenta un modello di evacuazione microdiscreta che pone l'accento in particolare sul comportamento umano e si concentra sullo studio delle generiche proprietà di evacuazione degli occupanti da grandi spazi aperti affollati dopo una determinata fase di pre-movimento. Utilizzando i Cellular Automata (CA) nello sviluppo delle regole, il modello creato ha il vantaggio di catturare efficacemente il comportamento degli occupanti a livello individuale, mentre raggiunge un livello realistico nel rappresentare l'attività collettiva. Gli studi su alcune importanti caratteristiche di evacuazione quali l'esistenza di differenti velocità delle persone e la diversa struttura della costruzione offrono alcuni fattori chiave che influenzano l'efficienza dell'evacuazione. Attraverso lo studio dell'evacuazione da un corridoio, con e senza parti che si allargano, sono stati trovati gli stati disordinati durante il movimento che fanno diminuire l'efficienza dell'evacuazione. Tutto ciò consente di capire i fenomeni speciali durante una evacuazione ed è utile in termini di prestazioni di base per la progettazione di edifici.

Nello specifico, è possibile affermare che di solito un modello di evacuazione che consideri il comportamento umano dovrebbe contenere diversi fattori chiave, tra cui la scelta del percorso, le interazioni tra le persone e l'effetto sulle persone dell'ambiente, come il fumo e l'aria rovente. In sostanza, questo modello è stato sviluppato per studiare le folle di grandi dimensioni, spazi aperti come negozi o teatri. In queste situazioni di evacuazione i tempi di evacuazione dipendono principalmente dai tempi di movimento dei primi occupanti che rispondono all'emergenza e dai tempi di movimento di tutta la popolazione che occupa la struttura. Per tale ragione il modello in esame si

concentra sullo studio dei fenomeni che avvengono dopo che tutte le persone iniziano l'evacuazione, e non su tutto il tempo di evacuazione, tralasciando lo studio del tempo di pre-movimento. Così, si assume che tutte le persone cominciano a evacuare contemporaneamente dopo una determinata fase di pre-movimento e il tempo di evacuazione calcolato esclude il tempo di pre-movimento. Nel modello, la struttura di base dell'edificio è rappresentata da una griglia bidimensionale. Ogni cella può essere vuota, occupata da un ostacolo/parete o occupata da esattamente una persona. Ciascun occupante può essere spostato solo nelle celle vuote. Ogni cella ha quattro stati: 0 se non è occupata, 1 se c'è un occupante la cui velocità è 1, 2 se c'è un occupante la cui velocità è 2 e 3 se è occupata da ostacolo/parete. La dimensione di una cella corrisponde a circa $0.4 \times 0.4 \text{ m}^2$. Si ipotizza un aggiornamento sincrono per tutti gli occupanti. Ed empiricamente la velocità media di uomo normale in uno stato nervoso può raggiungere 1.50 m/s. In tal modo un passo temporale nel modello è di circa 0.27 s, che è nell'ordine del tempo di reazione ed è coerente con le regole microscopiche adottate. Al fine di determinare la direzione di movimento di ciascun occupante, viene introdotto un grado di pericolo per descrivere la conoscenza del pericolo insito nel luogo da parte di ogni occupante. Questo può essere visto come una proprietà della cella. Generalmente, il grado di pericolo è determinato dalla distanza dall'uscita di sicurezza, cioè più vicini si è all'uscita e minore sarà il grado di pericolo della cella. Nel modello, se non si desidera definire il grado di pericolo di una stanza in anticipo, potrà essere utilizzato in seguito in maniera opzionale per descrivere una evacuazione più realistica in una fase detta di "familiarizzazione", che viene prima della fase di evacuazione vera e propria. Nella fase di familiarizzazione, gli occupanti vengono introdotti nella stanza per ottenere familiarità con la costruzione ed i gradi di pericolo delle celle sono determinati in questa fase. Nella fase di evacuazione, ogni scelta del percorso da parte degli occupanti si basa sulla propria percezione della classe di pericolo della cella.

In primo luogo, il modello viene utilizzato per simulare l'evacuazione da una grande aula con due uscite. Ci sono due tipi di occupanti in questa simulazione: l'uomo lento, la cui velocità è 1, e l'uomo veloce, la cui velocità è 2. Nella fase di evacuazione, tutti i 150 occupanti iniziano ad evacuare al passo temporale 1 e l'intera evacuazione consta di 131 passi temporali.

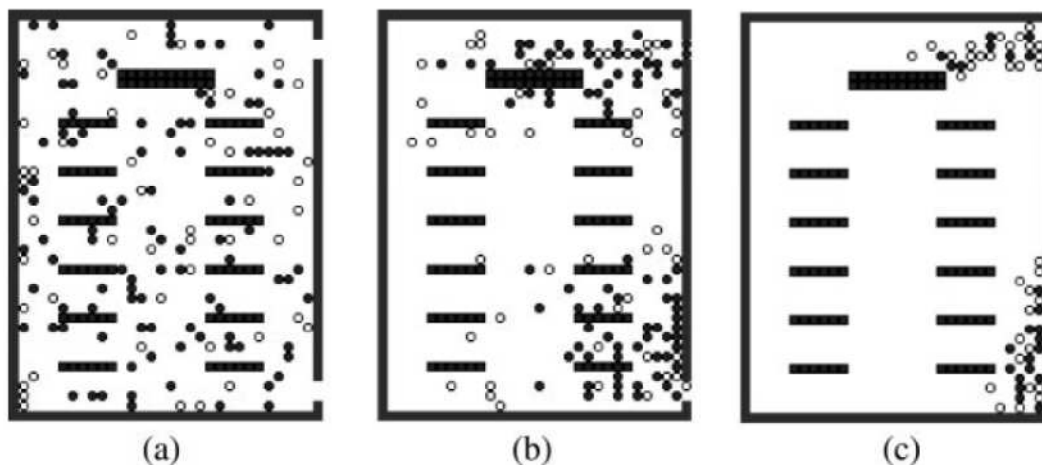


Figura 6. 7 – Simulazione degli occupanti che evacuano da una classe; i rettangoli neri rappresentano gli ostacoli, un cerchio pieno rappresenta un uomo veloce, un cerchio vuoto rappresenta un uomo lento

Sono state analizzate diverse fasi dinamiche e i risultati mostrano che, introducendo la fase di familiarizzazione, tutti gli occupanti riescono facilmente a trovare l'uscita nell'edificio pieno di ostacoli. Il metodo è veritiero in quanto in una stanza piena di fumo, se la visibilità è limitata, gli occupanti solitamente utilizzano angoli, ringhiere, etc. per aiutarsi nell'orientamento.

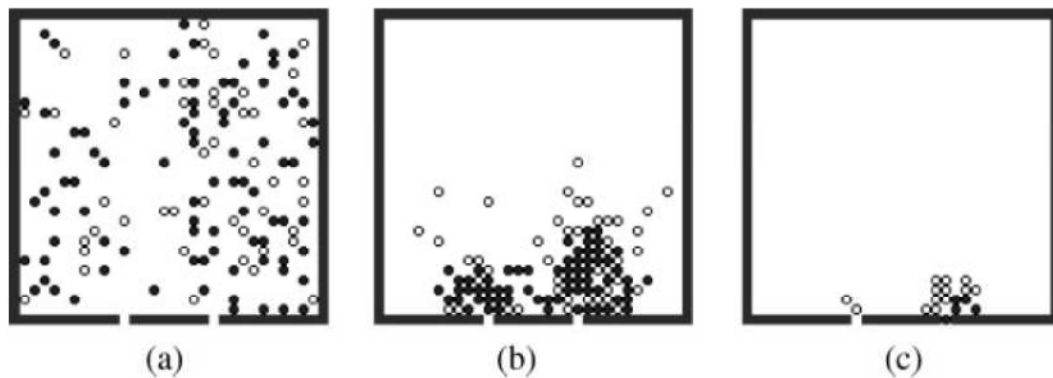


Figura 6. 8 – Simulazione degli occupanti che evacuano da una stanza con densità di occupazione asimmetrica

Un'altra simulazione è stata poi introdotta per studiare l'effetto della “premeditazione”, simulando l'evacuazione degli occupanti da una stanza con due uscite. In questa simulazione, all'inizio dell'evacuazione ci sono circa 45 occupanti nella parte sinistra della stanza e 90 occupanti nella parte destra. Tutti gli occupanti iniziano a muoversi allo stesso passo temporale di 1. In linea con le regole adottate nel modello, in un primo momento ogni occupante si sposta verso l'uscita più vicina, ma poiché la parte destra ha più occupanti, una volta che gli occupanti della parte destra penseranno che possono evacuare prima dall'uscita sinistra prima, si sposteranno nella parte sinistra. Nella simulazione, circa 15 occupanti della parte evacueranno attraverso l'uscita di sinistra. Dai risultati si evince dunque che la premeditazione può modellare in buona misura l'intelligenza dell'essere umano.

Inoltre, come esempio di applicazione alla progettazione degli edifici, il modello è stato utilizzato per studiare una evacuazione da un corridoio. Sono stati studiati due scenari, un corridoio comune di 2 celle di larghezza e 60 celle di lunghezza; l'altro corridoio ha un allargamento di 6 celle nella parte centrale. Anche in questo caso, ci sono due tipi di occupanti: lento e veloce.

Si suppone che 500 occupanti evacuino attraverso il corridoio da una grande sala gremita, nelle simulazioni la percentuale delle persone lente varia da 0-100%. Per ciascuna percentuale, la simulazione viene eseguita nei rispettivi scenari con le stesse condizioni iniziali e le stesse condizioni al contorno. Graficando il costo totale temporale con diverse percentuali di uomini lenti si trovano diversi fenomeni interessanti. In primo luogo, il costo totale temporale aumenta con l'aumentare degli uomini lenti, ma quando la percentuale di uomini lenti è maggiore di circa l'85% (circa l'80% per il corridoio allargato) il tempo totale inizia a diminuire. Questo significa che quando vi è una sola velocità, l'efficienza dell'evacuazione è maggiore di quando ci sono due velocità coesistenti. Ciò è dovuto al fatto che, quando vi è una sola velocità, il sorpasso tra le persone è poco e l'evacuazione può essere vista come il raggiungimento di uno stato stabile e coerente in movimento.

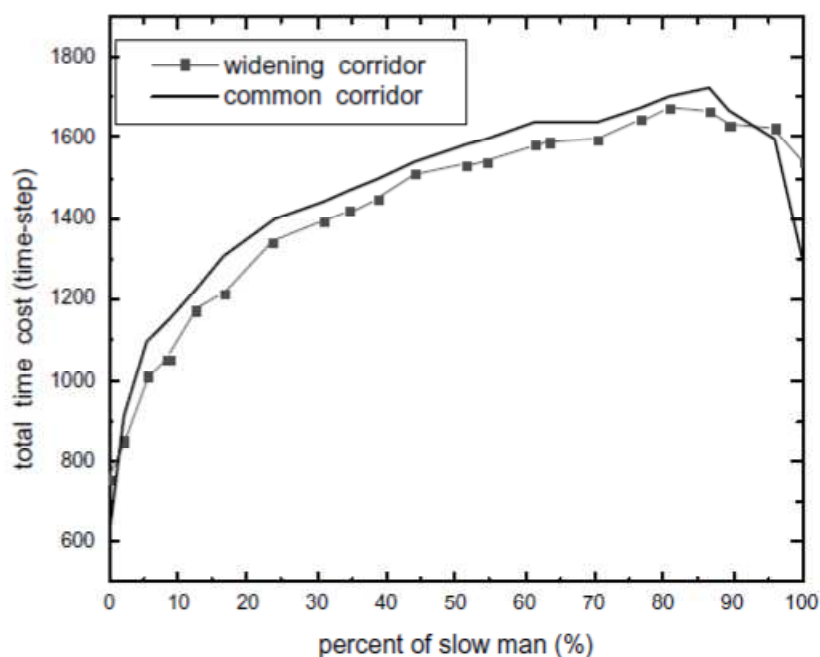


Figura 6. 9 – Costo totale di tempo con differenti percentuali di uomini lenti

Tuttavia, è inevitabile che in una evacuazione vera e propria coesistano diversi tipi di persone. L'esistenza di una piccola percentuale di uomini lenti (o veloci) comporterà che passi più tempo rispetto alla situazione con solo uomini veloci (o uomini lenti).

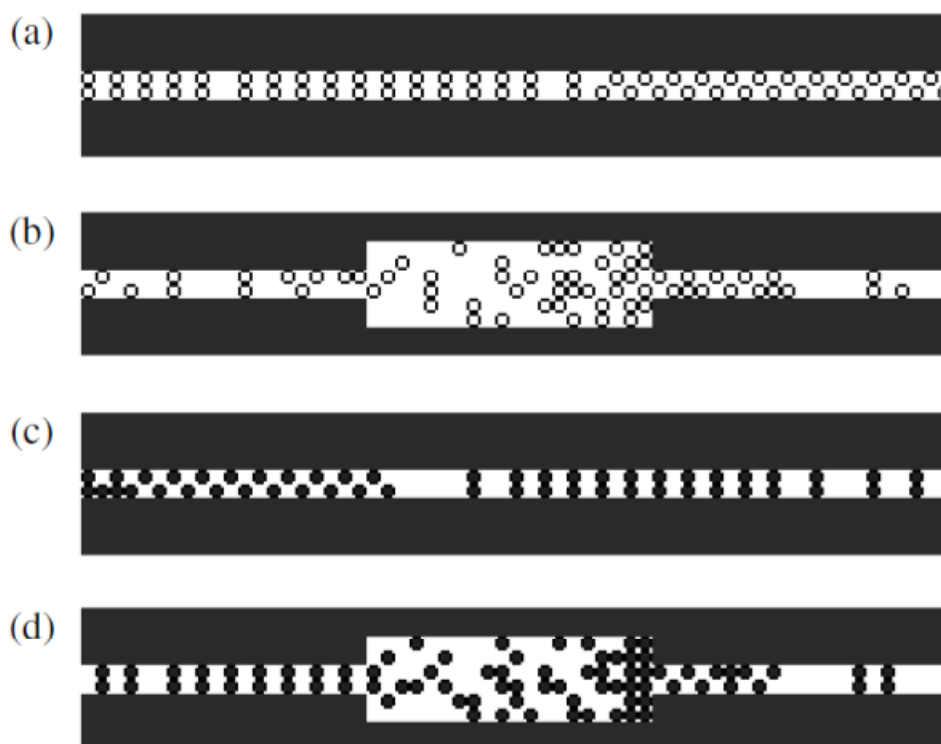


Figura 6. 10 – Simulazione di occupanti che evacuano attraverso due differenti corridoi da sinistra a destra; b), d) hanno una parte allargata nel mezzo. a), b) la percentuale di uomini lenti è il 100%; c), d) la percentuale di uomini lenti è lo 0%

Studiando la dimostrazione dinamica del processo di evacuazione, si trova che l'esistenza degli uomini lenti impedisce che gli uomini veloci vadano avanti senza intoppi, l'uomo veloce deve passare da una "corsia" ad un'altra di frequente, e questo aumenta notevolmente il costo totale del tempo. Inoltre, quando la percentuale di uomini veloci è bassa, il passare di frequente da una corsia all'altra da parte degli uomini veloci influisce sul processo stabile dell'uomo lento. Da qui si comprende come sia davvero importante

per l'evacuazione di un occupante mantenere uno stato coerente di movimento.

In secondo luogo è stato studiato l'effetto delle caratteristiche costruttive, quando la percentuale di uomini lenti è quasi 0 o 100%, l'esistenza di una parte allargata fa diminuire l'efficienza dell'evacuazione.

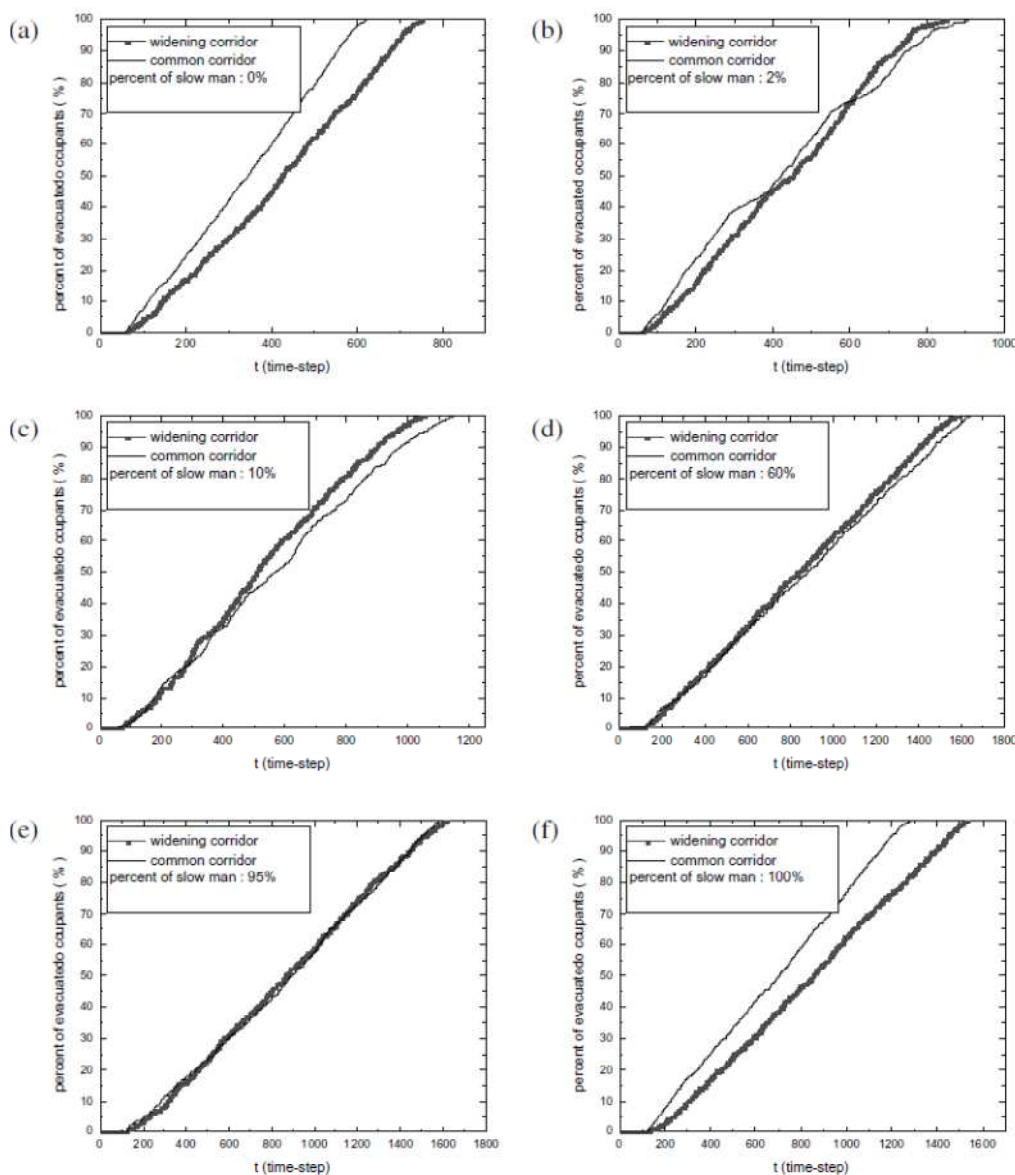


Figura 6.11 – Efficienza degli occupanti che evacuano attraverso due tipi di corridoi con la percentuale di uomini lenti: a) 0%; b) 2%; c) 10%; d) 60%; e) 95%; f) 100%

Questo perché l'allargamento porta un disturbo ai pedoni, in quanto ognuno cerca di superare l'altro nell'area ampia e preme di nuovo nel flusso principale alla fine dell'allargamento. Quindi la fine dell'allargamento agisce come un collo di bottiglia, e porta a rallentamenti e ingorghi.

Tuttavia, quando la percentuale di uomini lenti è compresa tra 2 e 95% circa, gli occupanti che evacuano attraverso il corridoio con l'allargamento usano meno passaggi temporali rispetto a quando attraversano il corridoio comune. Questo perché, in realtà, gli uomini lenti sono spesso sul percorso degli uomini veloci, così la parte ampliata fornisce un luogo per l'uomo veloce per superare gli uomini lenti, e quindi in questa situazione la parte allargata agisce come una valvola.



Figura 6. 12 – Simulazione di occupanti che evacuano attraverso due differenti corridoi da sinistra a destra con la percentuale di uomini lenti pari al 20%. a) corridoio comune; b) corridoio con apertura

Da questa analisi non è facile giudicare se l'introduzione di una parte ampliata andrà a beneficio o meno dell'evacuazione. Il suo vantaggio è legato alla distribuzione dei diversi tipi di occupanti negli edifici.

[167] Fangqin Tang, Aizhu Ren, *GIS-based 3D evacuation simulation for indoor fire*, Building and Environment 49 (2012) 193-202.

I comportamenti umani e la capacità di evacuare durante un incendio possono essere influenzati in modo significativo dalle condizioni ambientali come la disposizione dell'edificio e la distribuzione del fumo, e quindi la modellazione del comportamento umano deve essere basata su considerazioni riguardanti queste caratteristiche. Questo lavoro presenta un modello di evacuazione al fuoco da un luogo chiuso che consenta una rappresentazione completa dell'interazione tra le variabili essenziali, cioè ambiente, occupanti e prodotti della combustione. La tecnologia GIS (Geographic Information System) è stata applicata nel modello per analizzare le distribuzioni delle variabili essenziali e sostenere la modellazione delle interazioni uomo-fuoco, che includono i comportamenti umani durante l'evacuazione e i pericoli dovuti ai gas dell'incendio. Sono state modellate, sulla base di elementi progettuali e della combinazione delle regole formulate, sette categorie di comportamenti: attività di pre-evacuazione, evacuazione, seguire la folla, muoversi attraverso, strisciare, tornare indietro e aspettare. L'inserimento dell'analisi spaziale e della modellazione del comportamento basato su regole permette ai comportamenti simulati di adattarsi allo sviluppo di ambienti sottoposti ad un incendio. Infine i risultati della simulazione, presentati quantitativamente, sono stati visualizzati in un ambiente 3D in cui sono stati creati scenari di incendio virtuali in tempo reale. Un esempio di simulazione dimostra che l'uso del modello può supportare piani che riguardano le costruzioni in materia di sicurezza antincendio e può migliorare la comprensione del processo di evacuazione antincendio.

Nello specifico, come esempio di simulazione è stato considerato un palazzo di quattro piani con degli uffici al suo interno. La superficie dell'edificio è pari approssimativamente a 60 m x 30 m con uffici e sale per le conferenze.

Ogni piano ha un layout simile con quattro uscite. La sorgente del fuoco è supposta essere collocata in un angolo di una sala computer sul terzo piano. Il carico di incendio è stato impostato pari a 1000 kW in base alla dimensione spaziale e in base ai quantitativi di carburante, e la temperatura della superficie della sorgente di fuoco è di 500° C. Sono state prese in considerazione la ventilazione attraverso le finestre e le porte, ma non è stata considerata l'influenza del clima esterno.

Su ogni piano sono stati generati in modo casuale 150 occupanti con date posizioni iniziali, il che ha reso una popolazione evacuante totale di 600 persone. Si è ipotizzato che nessun occupante si trovasse nelle scale inizialmente. Il tempo di pre-movimento è stato impostato a 60 s per gli occupanti sul piano 3, quando il fuoco ha iniziato a divampare, 70 s per chi è sul piano 4 in cui si diffonde il fumo e 80 s per gli altri piani secondo i dati relativi ai tempi di pre-movimento degli occupanti.

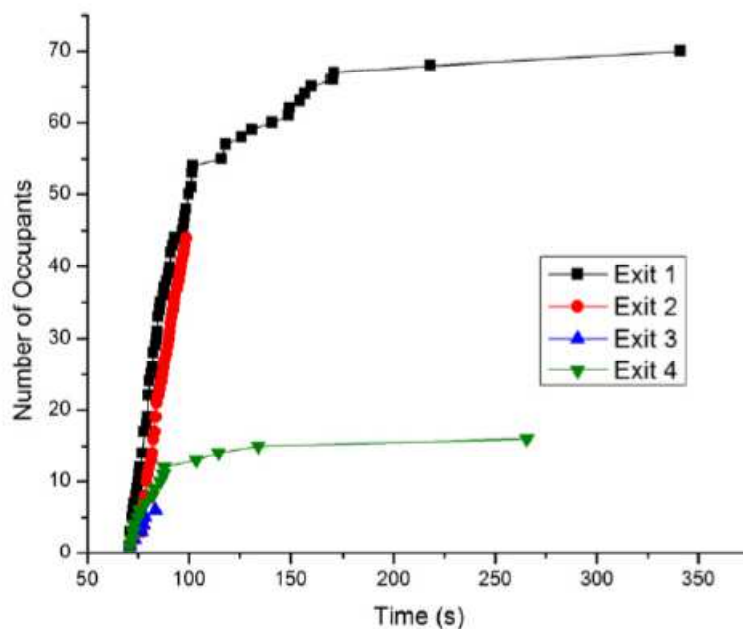


Figura 6. 13 – Curva cumulativa degli occupanti che passano attraverso le uscite sul piano 4

La simulazione dell'incendio mostra che sul piano 3 il fumo principalmente si accumula nella camera che sta bruciando e nelle rientranze adiacenti con un po' di propagazione del fumo fuori dall'edificio attraverso la ventilazione. Appena il fuoco aumenta, la forza di trazione verticale dal cortile interno causa l'innalzamento del fumo verso il piano 4. La simulazione ha dato un valore di picco del tasso totale di rilascio del calore pari a 2.127 MW a 254 s. La concentrazione media di CO nella camera che brucia aumenta dello 0,1% a 90 s. Così come per il fumo propagato al piano superiore, la concentrazione di CO in alcune zone sul piano 4 si trova vicino allo 0,03% a 180 s. Durante la simulazione, l'analisi spaziale ha valutato l'effetto della potenza dei prodotti tossici della combustione sugli individui interessati secondo i risultati della simulazione FDS e determina se gli individui affetti sono stati resi incapaci di uscire e sono rimasti intrappolati.

Quando la simulazione termina, il sistema registra ogni movimento degli occupanti e abbozza i percorsi dell'evacuazione in un visualizzatore 2D. I percorsi trovati hanno indicato che gli occupanti sul piano si comportano in maniera separata all'interno delle stanze e aggregata nei corridoi. Deviazioni si verificano intorno alle stanze colpite dal fumo e nei corridoi. Va osservato che la maggior parte degli occupanti vicino alla camera che brucia ha scelto di evacuare attraverso l'uscita 1, perché l'uscita 1 è stata meno colpita dal fuoco dell'uscita 3. Le evacuazioni sui restanti tre piani sono parallele e il tempo di evacuazione dipende principalmente dal layout del piano e da caratteristiche dinamiche, quali la densità della popolazione e le distribuzioni del fumo. La congestione al vano scala può provocare lunghi tempi di attesa per accedere alla scala e questo provoca un tempo di sfollamento del piano più lungo. I Piani 3 e 4 hanno un tempo di sfollamento più lungo rispetto al piano 2 a causa dell'impatto del fuoco. I tempi di sfollamento delle scale aumentano dal livello 4 al livello 1 appena il flusso si muove verso il basso lungo la tromba delle scale.

Per confrontare l'attrattività delle uscite, è stato messo un contatore ad ogni uscita sul piano 4 a contare gli occupanti al passare del tempo. Dai dati raccolti si può vedere che l'uscita 1 è l'uscita principale per il piano, mentre meno di 10 occupanti hanno scelto l'uscita 3 per evacuare in base a considerazioni sull'incendio. Una piccola percentuale di occupanti devia nel fumo, il che ha reso le loro risposte diverse da quelle degli altri e ha causato una lunga coda sulle curve di uscita 1 e uscita 4. Le prestazioni della simulazione possono essere esaminate attraverso un visualizzatore 3D. La congestione si è verificata intorno alle aree dove i flussi convergono dalle diverse direzioni, ad esempio nelle scale. La Figura 6.14 mostra il fenomeno che segue quando gli occupanti si stanno dirigendo all'uscita di destinazione sul piano 1.



Figura 6. 14 – Uscita delle persone sul Piano 1

Poiché il lato destro dell'edificio ha solo una uscita sul piano 1, può essere inserito un ingresso per mitigare la possibile congestione nella zona di uscita (cerchiato in Figura 6.14). Una uscita larga per stanze ampie come le aule per le conferenze deve poter essere aumentata per un flusso maggiore in caso di elevata densità di popolazione. In Figura 6.15 viene illustrato il comportamento dello strisciare sotto lo strato di fumo sul piano 3.



Figura 6. 15 – Il comportamento dello strisciare sotto lo strato di fumo

Una visione globale della simulazione dell'evacuazione al fuoco dal piano 1 al piano 3 è mostrata in Figura 6.16.

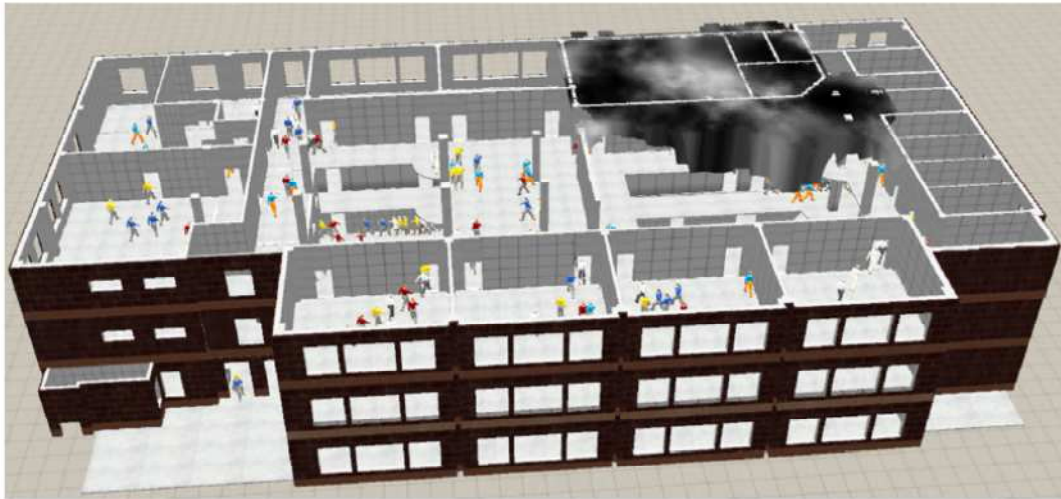


Figura 6. 16 – Vista 3D della simulazione dell'evacuazione a causa dell'incendio dal piano 1 al piano 3

Si può vedere che il visualizzatore 3D è in grado di creare in tempo reale uno scenario virtuale di evacuazione al fuoco. Gli effetti del fumo sono stati generati corrispondentemente alla simulazione dell'incendio da FDS e i movimenti delle persone sono stati associati con i risultati della simulazione dell'evacuazione.

[181] Margrethe Kobes, Ira Helsloot, Bauke de Vries, Jos Post, *Exit choice, (pre-)movement time and (pre-)evacuation behaviour in hotel fire evacuation – Behavioural analysis and validation of the use of serious gaming in experimental research*, *Procedia Engineering* 3 (2010) 37–51.

Il comportamento umano in caso di incendio è studiato principalmente da valutazioni di incidenti ed esperimenti reali, quali esercitazioni antincendio senza preavviso. La possibilità di adottare una realtà virtuale per lo studio del comportamento umano negli incendi finora è stata scarsamente adottata dai ricercatori. Tuttavia, l'applicazione di una valutazione comportamentale e uno strumento di ricerca (BART) in una realtà virtuale dovrebbe essere un prezioso supporto ad integrazione dei metodi di ricerca esistenti. Lo strumento innovativo sarà validato confrontando i risultati di esperimenti in un ambiente virtuale con i risultati degli esperimenti stessi nella vita reale. In questo lavoro sono stati riportati alcuni risultati di casi di studio sul comportamento nel caso di una evacuazione in un edificio reale, nonché in un edificio virtuale in BART. Parte dell'analisi comprende la scelta del percorso dei partecipanti, il tempo di pre-movimento, il comportamento di pre-evacuazione, il tempo di movimento e il comportamento durante l'evacuazione.

Uno dei casi maggiormente considerati nella ricerca sul comportamento umano in caso di incendio è l'Hotel, in quanto tali strutture hanno un profilo di rischio alto: la maggior parte degli ospiti non ha familiarità con l'edificio e con le vie di fuga. Di conseguenza, gli ospiti dell'hotel sono in parte dipendenti da un team di evacuazione dell'edificio (Building Evacuation Team, BET) in caso di emergenza. Pertanto, gli esperimenti consistono in esercitazioni antincendio a sorpresa in un hotel di notte. Inoltre, i soggetti del test devono evacuare individualmente, senza assistenza dei BET. Le camere che vengono utilizzate nella ricerca sperimentale si trovano al primo piano. La pianta del primo piano è paragonabile alla pianta del piano terra.

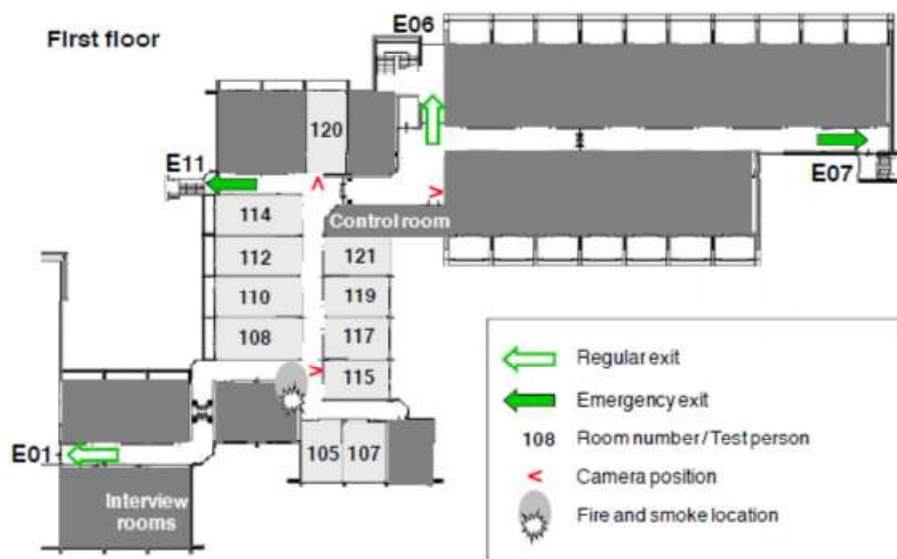


Figura 6. 17 – Planimetria del piano dell’hotel sottoposto al test

Sono stati condotti test in tre situazioni o scenari. Nel primo scenario (scenario di base) non è stato cambiato niente nelle impostazioni di base dell’hotel. Nel secondo scenario (scenario del fumo) un incendio viene simulato facendo uscire del fumo dalla camera di un hotel nel corridoio. Il fumo nei corridoi blocca il percorso verso l’ingresso principale. Nel terzo scenario (scenario dei segnali di uscita) viene simulato un incendio e anche i cartelli verdi che indicano l’uscita sono messi sul livello del pavimento, invece che a livello del soffitto. Negli scenari sperimentali sono state implementate le informazioni già note in letteratura.

Per convalidare ADMS-BART sono stati confrontati i risultati dello scenario di base, di fumo e dell’uscita in un hotel vero e proprio con questi scenari in un hotel virtuale.

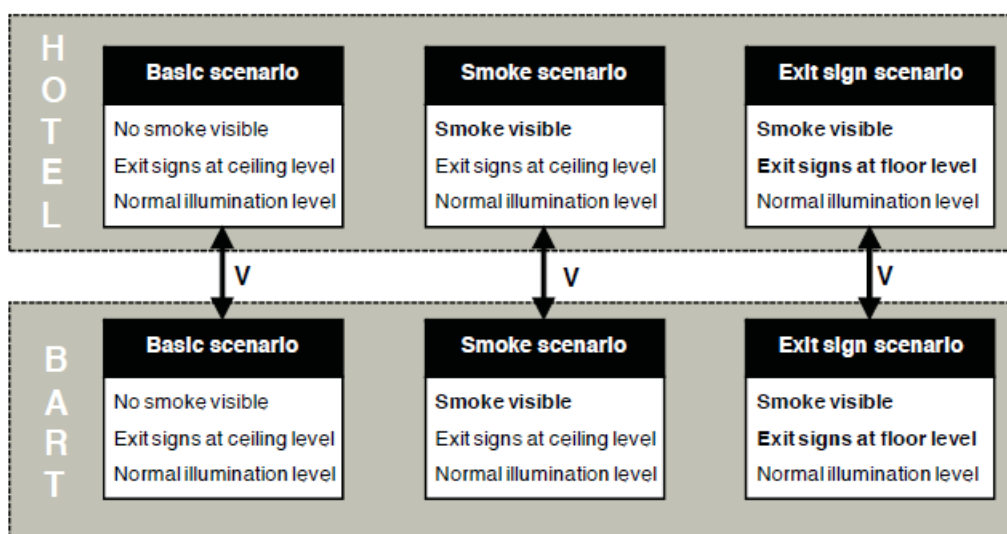


Figura 6. 18 – Scenari di validazione

All'inizio degli esperimenti, sia nell'hotel reale che in quello virtuale, il partecipante era presente (o virtualmente presente) in una delle 11 camere selezionate dell'hotel. In entrambi gli ambienti i partecipanti sono stati allarmati da un messaggio vocale, visto che in letteratura si è constatato che un allarme antincendio dato mediante un messaggio vocale, o mediante comunicazione di direttive da parte del personale, è preso molto seriamente da parte degli occupanti presenti in un edificio. Il messaggio è stato dato per mezzo di una chiamata telefonica, per non allarmare tutti i partecipanti allo stesso tempo, ma singolarmente, per osservare il loro comportamento individuale.

Un test ANOVA a una via è stato condotto per tutti e tre gli scenari nel complesso ed esso dimostra che vi è una significativa differenza per genere ($p < 0.01$). Nei test che sono stati utilizzati per l'analisi della validazione, la maggior parte dei partecipanti erano femmine. Nelle prove in ambiente virtuale, le donne erano una leggera maggioranza, mentre in ambiente reale, più di due terzi erano di sesso femminile. Poiché tutti i gruppi di test contengono 20 o più casi, è stato opportuno eseguire prove binomiali per le

analisi di scenario. I risultati delle prove binomiali mostrano che la differenza di genere era significativa nello scenario con i segnali in uscita posti in basso ($p = 0.050$), così come nello scenario di fumo ($p < 0.01$) e lo scenario di base ($p < 0.001$). Il test ANOVA non ha evidenziato differenze significative per età tra gli scenari degli ambienti reale e virtuale.

Con riferimento alla scelta delle uscite, le prove sono state condotte in tre situazioni o scenari. Nello scenario di base la maggioranza dei partecipanti è fuggita dall'uscita principale. Nello scenario di fumo e dell'uscita una minoranza è fuggita utilizzando l'uscita più vicina al fuoco.



Figura 6. 19 – Immagini di scenario

Con riferimento invece ai tempi di pre-movimento e movimento, si ha che, come mostrato in letteratura, il processo di evacuazione è caratterizzato sicuramente da tre attività di base, vale a dire validazione delle indicazioni, processo decisionale e movimento verso un luogo sicuro. Teoricamente le attività di base possono essere convertite in fasi del processo di evacuazione, vale a dire il tempo di validazione delle indicazioni, il tempo per il processo decisionale e il tempo di movimento/rifugio. L'ultimo tempo è indicato anche come fase di movimento. Il tempo di validazione delle indicazioni e il tempo per il processo decisionale insieme vengono indicati come fase di pre-movimento.

Sono stati misurati i periodi temporali delle tre attività. In questo studio la prima indicazione è costituita da una telefonata. Il tempo tra la chiamata e il mettere giù il telefono è il tempo di allarme. Il tempo tra il mettere giù il telefono e aprire la porta della camera (per l'ultima volta) è il tempo di reazione. Il tempo di movimento è il tempo tra l'apertura della porta della camera dell'hotel e la porta di uscita dalle fiamme o il momento di arrivo presso la reception. Inoltre è stata misurata la distanza (approssimativa) a piedi e quindi è stato possibile determinare la velocità a piedi dividendo la distanza a piedi per il tempo di movimento.

Per quanto riguarda la sicurezza ed il comportamento durante l'evacuazione, si ha che prima e durante l'evacuazione sono stati osservati particolari comportamenti di sicurezza antincendio, come ispezioni del percorso di fuga, utilizzando le planimetrie di evacuazione che sono state collocate nei corridoi e sulle porte delle stanze dell'hotel ed utilizzando le indicazioni verdi per l'uscita nel corridoio. Nei questionari erogati alle persone è stato chiesto anche questo comportamento di sicurezza antincendio.

Successivamente è stata condotta la validazione per ciascuno dei tre scenari. Per la validazione in assoluto, i dati raccolti nei due ambienti testati sono stati confrontati per ogni scenario. Un Test binomiale non parametrico è stato utilizzato per testare le possibili differenze nella scelta di una uscita (uscita principale, uscita più vicina al fuoco o altra uscita). I due campioni indipendenti T-test sono stati utilizzati per verificare le eventuali differenze nel tempo di movimento per scegliere l'uscita (in secondi). Nella validazione relativa sono state analizzate le similitudini nella grandezza e nella direzione degli effetti in ambiente reale e virtuale. Per verificare la validità relativa tra la scelta dell'uscita negli ambienti di test virtuali e reali, è stata condotta un'analisi della varianza a due fattori (ANOVA).

Per l'analisi assoluta, i risultati del test binomiale mostrano anche una significativa differenza nella scelta dell'uscita tra l'ambiente virtuale e reale nello scenario con i segnali di uscita posti in basso ($p < 0.01$). Non vi è alcuna differenza significativa nella scelta dell'uscita tra i due ambienti negli altri due scenari. Non esiste una spiegazione chiara per le differenze trovate. Forse i risultati dei test nello scenario con i segnali di uscita posti in basso nell'ambiente virtuale sono stati influenzati da differenze ancora da scoprire nella composizione del gruppo.

I risultati sono stati forniti per tutti i test per ogni scenario, per il gruppo di partecipanti che è fuggito tramite l'uscita principale e per i partecipanti che sono fuggiti attraverso l'uscita sottoposta al fuoco.

Per l'analisi relativa, sono stati analizzati due tipi di impatto, cioè l'impatto del fumo sulla scelta dell'uscita e l'impatto della posizione delle indicazioni dell'uscita sulla scelta dell'uscita. Nello scenario senza fumo percepibile nell'ambiente reale, una lieve minoranza (45%) dei partecipanti è scappata attraverso l'uscita più vicina al fuoco, mentre negli scenari con fumo percettibile, la maggioranza dei partecipanti è scappata attraverso l'uscita più vicina al fuoco (64% negli scenari di fumo e 75% nello scenario con i segnali di uscita posti in basso). Si ipotizza che quando il fumo blocca il percorso verso l'uscita principale, gli sfollati sono più propensi ad evacuare tramite l'uscita più vicina al fuoco. Questo è vero sia per lo scenario di fumo che per quello con i segnali di uscita posti in basso. Tuttavia, una frazione considerevole di occupanti (31%) sono scappati verso l'uscita principale, anche se il percorso è stato bloccato dal fumo. In una situazione di incendio reale, questo comportamento avrebbe forse causato il ferimento delle persone. Pertanto, devono essere adottate misure per convincere gli occupanti ad evacuare attraverso l'uscita più vicina al fuoco.

Per l'analisi di validità relativa, l'influenza della posizione dei segnali di uscita sulla prestazione umana della risposta al fuoco è stata determinata confrontando i risultati delle prove nello scenario con i segnali di uscita in basso con i risultati delle prove nello scenario del fumo. I risultati dell'analisi della varianza a due fattori (ANOVA) mostrano che la scelta dell'uscita non è significativamente diversa per l'effetto principale dello scenario. Tuttavia, l'ANOVA ha rivelato un effetto di interazione tra lo scenario e l'ambiente sulla scelta dell'uscita e questo significa che l'effetto della posizione dei segnali di uscita è probabilmente diverso negli ambienti virtuale e reale. Nell'analisi di validazione assoluta, si era già constatato che la scelta di una uscita in un ambiente virtuale non è conforme con il presupposto che relativamente più partecipanti evacueranno attraverso l'uscita più vicina al fuoco rispetto allo scenario del fumo e allo scenario con i segnali di uscita in basso. In particolare, nello scenario del fumo, il 74% dei partecipanti è scappato tramite l'uscita più vicina al fuoco, rispetto al 48% dei partecipanti nello scenario con i segnali di uscita posti in basso. D'altra parte, l'assunzione è risultata essere veritiera in un ambiente reale, dove più partecipanti (75%) sono scappati tramite l'uscita di sicurezza più vicina nello scenario con i segnali di uscita in basso rispetto allo scenario di fumo (64,1%). Pertanto, un'ulteriore analisi dei fattori che eventualmente influenzano la scelta dell'uscita è necessaria per studiare i probabili effetti diversi della posizione dei segnali di uscita negli ambienti virtuali e reali.

In conclusione, nello scenario di base, la maggior parte dei partecipanti è fuggita attraverso l'uscita principale. Nello scenario del fumo e nello scenario dei segnali di uscita la minoranza è fuggita utilizzando l'uscita più vicina al fuoco. Questo indica che la presenza di fumo nel percorso verso l'uscita principale ha influenza sulla scelta del percorso.

Sia nell'hotel reale che in quello virtuale il tempo di reazione medio è più breve negli scenari di fumo percettibile rispetto agli scenari di base (senza

fumo percettibile). Anche i tempi di spostamento medio sia per l'hotel reale che per quello virtuale sono più veloci negli scenari con fumo percettibile rispetto ai tempi di movimento nello scenario senza fumo percettibile. La relazione tra fumo percettibile e tempo di reazione non può essere spiegata se non con il fatto che il fumo era percepibile solo dopo che il partecipante aveva aperto la porta oppure era entrato nel corridoio. Tuttavia, la velocità di movimento maggiore negli scenari con il fumo percettibile indica che il senso di urgenza è maggiore se c'è fumo presente nel corridoio.

L'analisi di validazione assoluta ha rivelato che non vi è alcuna differenza significativa nella scelta tra l'uscita reale e l'ambiente virtuale per lo scenario di base e lo scenario di fumo. Tuttavia, nello scenario con i segnali di uscita in basso, una differenza significativa ($p < 0.01$) si trova nella scelta dell'uscita. In un ambiente virtuale, questa si discosta dal presupposto che se i segnali di uscita sono posti a livello del pavimento (scenario con i segnali di uscita in basso) più partecipanti tendono ad evacuare attraverso l'uscita più vicina al fuoco rispetto al caso in cui i segnali di uscita sono posti a livello del soffitto (scenario del fumo). Questo risultato è controintuitivo; pertanto, necessita di ulteriori analisi. Non vi è alcuna differenza significativa tra i tempi di movimento nello scenario di base e nello scenario con i segnale di uscita in basso, anche se ci sono differenze significative nello scenario di fumo per l'evacuazione attraverso l'uscita più vicina al fuoco ($p < 0.05$), così come attraverso l'uscita principale ($p < 0.01$). Queste differenze possono essere spiegate con l'utilizzo di una velocità di movimento fissa in ADMS-BART.

L'analisi di validazione relativa ha rivelato che ADMS-BART può essere considerato un valido strumento di supporto per la ricerca sulle prestazioni di wayfinding. Sono stati analizzati due tipi di impatto, cioè l'impatto del fumo sulla scelta dell'uscita e l'impatto della posizione delle indicazioni per l'uscita sulla scelta dell'uscita. Si è riscontrato che non vi è alcun motivo di ritenere che l'effetto del fumo sia diverso negli ambienti virtuali e reali.

D'altra parte, l'analisi di validazione relativa dell'effetto della posizione dei segnali di uscita ha rivelato che l'effetto è probabilmente differente nell'ambiente virtuale e reale. Questa differenza è probabilmente causata da un risultato incoerente nell'analisi di validazione assoluta, come la scelta dell'uscita nello scenario con i segnali di uscita in basso in un ambiente virtuale non è conforme con il presupposto che nello scenario con i segnali di uscita in basso relativamente più partecipanti evacueranno attraverso l'uscita più vicina al fuoco rispetto allo scenario di fumo.

Quando non sono percepiti segnali di un incendio vero e proprio diversi dal messaggio di allarme antincendio, gli occupanti esitano ad utilizzare una uscita di sicurezza ed è probabile che devieranno dal loro percorso iniziale girando al fine di utilizzare la familiare "uscita normale". Pertanto, sono necessari segnali aggiuntivi per confermare la necessità di utilizzare l'uscita più vicina al fuoco. Un sistema di guida del percorso con indicazioni per l'uscita è una misura di sicurezza antincendio che può convincere gli occupanti ad utilizzare l'uscita più vicina al fuoco. Nello scenario di base, quasi la metà dei partecipanti ha fatto uso dei segnali di uscita, e circa i due terzi dei partecipanti nei due scenari con fumo percettibile in ambiente reale ha affermato di aver utilizzato i segnali di uscita. Una differenza significativa nella scelta dell'uscita è stata trovata tra i partecipanti che hanno fatto uso dei segnali di uscita e quelli che non ne ha fatto uso nello scenario di base e nello scenario con segnali di uscita posti in basso. Ciò indica che l'influenza dei segnali di uscita è molto più forte quando il fumo è percettibile. Se il fumo è presente, l'influenza è significativamente più forte quando i segnali di uscita si trovano a livello del pavimento.



BIBLIOGRAFIA CAPITOLO VI

- [10] E. L. Quarantelli, *Panic behavior in fire situations: findings and a model from the english language research literature*, Fourth Joint Panel Meeting of the United States-Japan Panel on Fire Research to be held in Tokyo, Japan, February 5-9, 1979.
- [53] Fred I. Stahl, *BFIRES-II: A Behavior Based Computer Simulation of Emergency Egress During Fires*, National Bureau of Standards, 1980.
- [23] Shigeyuki Okazaki and Satoshi Matsushita, *A study of simulation model for pedestrian movement with evacuation and queuing*, Department of Architecture and Civil Engineering, Faculty of Engineering, Fukui University, Japan.
- [101] Proulx, G., *A stress model for people facing a fire*, Journal of Environmental Psychology (1993), 13, pp. 137-147.
- [97] Alan Porter, *Management of fire safety*, Property Management (1993), Vol. 8 Iss: 2 pp. 154 – 158.
- [139] Eric W. Marchant, *Some Aspects of Fire Safety in Libraries*, Library Review (1993), Vol. 37 Iss: 2 pp. 19 – 26.
- [140] George Atkinson, *Some European systems for regulation and control of private design and construction with particular reference to fire safety*, Structural Survey (1993), Vol. 9 Iss: 1 pp. 12 – 19.
- [141] Kenneth Barnes, *The Benefits of Microchips in Fire, Security and Safety Defences*, Industrial Management & Data Systems (1993), Vol. 82 Iss: 3 pp. 29 – 30.
- [82] Rob Pickard, *Fire Safety and Protection in Historic Buildings in England and Ireland - Part I*, Structural Survey (1994), Vol. 12 Iss: 2 pp. 27 – 31.
- [83] Rob Pickard, *Fire Safety and Protection in Historic Buildings in England and Ireland - Part II*, Structural Survey, Vol. 12 Iss: 3 pp. 8 – 10.
- [144] Vincent Shacklock, Alexander Copping, *The Protection of Anglican Cathedrals from Damage by Fire: A Review Based on Insurance Data*, Structural Survey (1994), Vol. 12 Iss: 5 pp. 4 – 10.
- [1] M. Pidd, F.N. de Silva, R.W. Eglese, *A simulation model for emergency evacuation*, European Journal of Operational Research 90 (1996) 413-419.
- [152] P. J. Woodburn & R. E. Britter, *CFD Simulations of a Tunnel Fire - Part I*, Fire Safety Journal 16 (1996) 35-62.
- [158] P. J. Woodburn & R. E. Britter, *CFD Simulations of a Tunnel Fire - Part II*, Fire Safety Journal 26 (1996) 63-90.
- [135] Francois Faucher, GaCtan Carrier, Jean-Claude Panisset, *Health risk assessment study for a general population in case of fire of high quantities of l,l, I-trichloroethane in urban zone*, Journal of Hazardous Materials 45 (1996) 141-147.
- [173] Norris R. Johnson And William E. Feinberg, *The impact of exit instructions and number of exits in fire emergencies: a computer simulation investigation*, Journal of Environmental Psychology (1997) 17, 123–133.
- [33] Gunnar G. Lovas, *Models of wayfinding in emergency evacuations*, European Journal of Operational Research 105 (1998) 371-389.
- [84] Vincent Brannigan, Carol Smidts, *Performance based fire safety regulation under intentional uncertainty*, Human Behaviour in Fire the First Symposium, 1998, Belfast, Northern Ireland.
- [127] P.C. Cacciabue, *Modelling and simulation of human behaviour for safety analysis and control of complex systems*, Safety Science (1998) Vol. 28, No. 2, pp. 97–110.
- [92] Guylène Proulx, *How to initiate evacuation movement in public buildings*, Facilities (1999), Vol. 17 Iss: 9 pp. 331 – 335.
- [89] Derek J. Howarth, Chakib Kara-Zaitri, *Fire safety management at passenger terminals*, Disaster Prevention and Management (1999), Vol. 8 Iss: 5 pp. 362 – 369.
- [32] S. Gwynne, E.R. Galea, M. Owen, P.J. Lawrence, L. Filippidis, *A review of the methodologies used in the computer simulation of evacuation from the built environment*, Building and Environment 34 (1999) 741-749.



- [75] Alan N. Beard, Jaime Santos-Reyes, *Creating a fire safety management system for offshore facilities*, Facilities (1999), Vol. 17 Iss: 9 pp. 352 – 362.
- [77] T.J. Shields, K.E. Boyce, G.W.H. Silcock, *Facilities management disability and emergency evacuation*, Facilities (1999), Vol. 17 Iss: 9 pp. 345 – 351.
- [86] G. Ramachandran, *Fire safety management and risk assessment*, Facilities (1999), Vol. 17 Iss: 9 pp. 363 – 377.
- [94] Brian J. Meacham, *Integrating human behavior and response issues into fire safety management of facilities*, Facilities (1999), Vol. 17 Iss: 9 pp. 303 – 312.
- [133] Ethel Graat, Cees Midden, Paul Bockholts, *Complex evacuation; effects of motivation level and slope of stairs on emergency egress time in a sports stadium*, Safety Science 31 (1999) 127-141.
- [114] Naai-Jung Shih, Ching-Yuan Lin, Chih-Hsiang Yang, *A virtual-reality-based feasibility study of evacuation time compared to the traditional calculation method*, Fire Safety Journal 34 (2000) 377-391.
- [177] T.J. Shields, K.E. Boyce, *A study of evacuation from large retail stores*, Fire Safety Journal 35 (2000) 25-49.
- [131] P.C. Cacciabue, *Human factors impact on risk analysis of complex systems*, Journal of Hazardous Materials 71 (2000) 101-116.
- [145] S.M. Lo, K.C. Lam, Richard K.K. Yuen, *Views of building surveyors and building services engineers on priority setting of fire safety attributes for building maintenance*, Facilities (2000), Vol. 18 Iss: 13 pp. 513 – 523.
- [39] S. Gwynne, E.R. Galea, P.J. Lawrence, L. Filippidis, *Modelling occupant interaction with fire conditions using the building EXODUS evacuation model*, Fire Safety Journal 36 (2001) 327-357.
- [155] A.M. Hasofer, D.O. Odigie, *Stochastic modelling for occupant safety in a building fire*, Fire Safety Journal 36 (2001) 269-289.
- [178] Dorothy Bruck, *The who, what, where and why of waking to fire alarms: a review*, Fire Safety Journal 36 (2001) 623-639.
- [63] L.H. Cheng, T.H. Ueng, C.W. Liu, *Simulation of ventilation and fire in the underground facilities*, Fire Safety Journal 36 (2001) 597-619.
- [15] J. D. Sime, *An occupant response shelter escape time (ORSET) model*, Safety Science 38 (2001) 109 – 125.
- [123] Valdir Pignatta e Silva, Ricardo Hallal Fakury, *Brazilian standards for steel structures fire design*, Fire Safety Journal 37 (2002) 217-227.
- [79] Jaime Santos-Reyes, Alan N. Beard, *Assessing safety management systems*, Journal of Loss Prevention in the Process Industries 15 (2002) 77-95.
- [7] G. S. Zhi, S. M. Lo, Z. Fang, *A graph algorithm for extracting units and loops from architectural floor plans for a building evacuation model*, Computer-Aided Design n. 35 (2003) 1 -14.
- [104] Jurij Modic, *Fire simulation in road tunnels*, Tunnelling and Underground Space Technology 18 (2003) 525-530.
- [48] Dongkon Lee, Hongtae Kim, Jin-Hyoung Park, Beom-Jin Park, *The current status and future issues in human evacuation from ships*, Safety Science 41 (2003) 861-876.
- [102] Yang Lizhong, Fang Weifeng And Fan Weicheng, *Modeling Occupant Evacuation using Cellular Automata – Effect of Human Behavior and Building Characteristics on Evacuation*, Journal Of Fire Sciences, VOL. 21 – May 2003.
- [95] S.M. Lo, W.Y. Cheng, *Issues of site inspections for fire safety ranking of multi-storey buildings*, Structural Survey (2003), Vol. 21 Iss: 2 pp. 79 – 86.
- [130] Veikko J. Pohjola, *Fundamentals of safety conscious process design*, Safety Science 41 (2003) 181-218.
- [142] J-F. Cadorin, J-M. Franssen, *A tool to design steel elements submitted to compartment fires—OZone V2. Part 1: pre- and post-flashover compartment fire model*, Fire Safety Journal 38 (2003) 395-427.



- [143] J-F. Cadorin, D. Pintea, J-C. Dotreppe, J-M. Franssen, *A tool to design steel elements submitted to compartment fires—OZone V2. Part 2: Methodology and application*, Fire Safety Journal 38 (2003) 429–451.
- [91] Gabriel Santos, Benigno E. Aguirre, *A critical review of emergency evacuation simulation models*, University of Delaware Disaster Research Center, Preliminary Paper n. 339.
- [168] Hongtae Kima, Jin-Hyoung Park, Dongkon Lee, Young-soon Yang, *Establishing the methodologies for human evacuation simulation in marine accidents*, Computers & Industrial Engineering 46 (2004) 725–740.
- [179] Dongkon Lee, Jin-Hyung Park, Hongtae Kim, *A study on experiment of human behavior for evacuation simulation*, Ocean Engineering 31 (2004) 931–941.
- [40] S.M. Lo, Z. Fang, P. Lin, G.S. Zh, *An evacuation model: the SGEM package*, Fire Safety Journal 39 (2004) 169–190.
- [93] Chandrakantan Subramaniam, *Human factors influencing fire safety measures*, Disaster Prevention and Management (2004), Vol. 13 Iss: 2 pp. 110 – 116.
- [128] M. M. Abu-Khader, *Impact of human behaviour on process safety management in developing countries*, Process Safety and Environmental Protection (2004), 82(B6): 431–437.
- [132] P.C. Cacciabue, *Human error risk management for engineering systems: a methodology for design, safety assessment, accident investigation and training*, Reliability Engineering and System Safety 83 (2004) 229–240.
- [41] Thiago Tinoco Pires, *An approach for modeling human cognitive behavior in evacuation models*, Fire Safety Journal 40 (2005) 177–189.
- [147] C.C. Hwang, J.C. Edwards, *The critical ventilation velocity in tunnel fires—a computer simulation*, Fire Safety Journal 40 (2005) 213–244.
- [78] Keith M Christensen, Shawnee D. Collins, Judith M. Holt, & Curtis N. Phillips, *The Relationship Between the Design of the Built Environment and the Ability to Egress of Individuals with Disabilities*, The Review of Disability Studies, 2005, Volume II Issue 3.
- [25] Tzu-Sheng Shen, *ESM: a building evacuation simulation model*, Building and Environment 40 (2005) 671–680.
- [169] L.Z. Yang, D.L. Zhao, J. Li, T.Y. Fang, *Simulation of the kin behavior in building occupant evacuation based on Cellular Automaton*, Building and Environment 40 (2005) 411–415.
- [85] Mohammad A. Hassanain, Mohammed Abdul Hafeez, *Fire safety evaluation of restaurant facilities*, Structural Survey (2005), Vol. 23 Iss: 4 pp. 298 – 309.
- [98] Anthony R. Mawson, *Understanding Mass Panic and Other Collective Response to Threat and Disaster*, Psychiatry 68 (2) Summer 2005.
- [87] Mohammad A. Hassanain, Ali Al-Mudhei, *Fire safety evaluation of motor fuel dispensing facilities*, Structural Survey (2006), Vol. 24 Iss: 1 pp. 65 – 76.
- [2] Emilia Villani, Percy Igei Kaneshiro, Paulo Eigi Miyagi, *Hybrid stochastic approach for the modelling and analysis of fire safety systems*, Nonlinear Analysis 65 (2006) 1123–1149.
- [49] L.T. Wong, T.F. Cheung, *Evaluating probable risk of evacuees in institutional buildings*, Safety Science 44 (2006) 169–181.
- [176] Ameya Shendarkar, Karthik Vasudevan, Seungho Lee, Young-Jun Son, *Crowd simulation for emergency response using BDI agent based on virtual reality*, Proceedings of the 2006 Winter Simulation Conference.
- [14] Nuria Pelechano and Norman I. Badler, *Modeling Crowd and Trained Leader Behavior during Building Evacuation*, IEEE Computer Graphics and Applications, 2006.
- [151] Kurt Muller, Markus Loeffe, Dieter Wieser, *Optical simulations for fire detectors*, Fire Safety Journal 41 (2006) 274–278.
- [96] Nuria Pelechano, Kevin O'Brien, Barry Silverman, Norman Badler, *Crowd Simulation Incorporating Agent Psychological Models*, Roles and Communication, 2006.
- [165] Percy I. Kaneshiro, Emilia Villani, Paulo E. Miyagi, *Modeling of fire protection systems in intelligent buildings*, Symposium Series in Mechatronics - Vol. 2 - pp. 337 – 344.



- [171] Weiguo Song, Xuan Xu, Bing-Hong Wang, Shunjiang Ni, *Simulation of evacuation processes using a multi-grid model for pedestrian dynamics*, Physica A 363 (2006) 492–500.
- [107] YANG Gao-shang, AN Yong-lin, PENG Li-min, ZHANG Jin-hua, *Simulation of smoke flow and longitudinal ventilation in tunnel fire*, Trans. Nonferrous Met. SOC. China 16(2006) 741-746.
- [125] Sherman C.P. Cheung, S.M. Lo, G.H. Yeoh, Richard K.K. Yuen, *The influence of gaps of fire-resisting doors on the smoke spread in a building fire*, Fire Safety Journal 41 (2006) 539–546.
- [146] Gianluca Antonini, Michel Bierlaire, Mats Weber, *Discrete choice models of pedestrian walking behavior*, Transportation Research Part B 40 (2006) 667–687.
- [50] Nikos ZARBOUTIS, Nicolas Marmaras, *Design of formative evacuation plans using agent-based simulation*, Safety Science 45 (2007) 920–940.
- [111] Jukka Hietaniemi, *Probabilistic simulation of fire endurance of a wooden beam*, Structural Safety 29 (2007) 322–336.
- [159] Zhixin Hu, Yunyong Utiskul, James G. Quintiere, Arnaud Trouve, *Towards large eddy simulations of flame extinction and carbon monoxide emission in compartment fires*, Proceedings of the Combustion Institute 31 (2007) 2537–2545.
- [170] Xiaoshan Pan, Charles S. Han, Ken Dauber, Kincho H. Law, *A multi-agent based framework for the simulation of human and social behaviors during emergency evacuations*, AI & Soc (2007) 22:113–132.
- [161] Xifa Huang, Kejun Wang, Lianying Guo, *Modeling of Pedestrian Evacuation Safety Control System Based on Agent*, Proceedings of the 2007 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation August 5 - 8, 2007, Harbin, China.
- [26] G.Q. Chu, T. Chen, Z.H. Sun, J.H. Sun, *Probabilistic risk assessment for evacuees in building fires*, Building and Environment 42 (2007) 1283–1290.
- [42] S. Ko, M. Spearpoint, A. Teo, *Trial evacuation of an industrial premises and evacuation model comparison*, Fire Safety Journal 42 (2007) 91–105.
- [61] Maohua Zhonga, Congling Shi, Xuwei Tu, Tairan Fu, Li He, *Study of the human evacuation simulation of metro fire safety analysis in China*, Journal of Loss Prevention in the Process Industries 21 (2008) 287–298.
- [71] S.M. Lo, C.M. Zhao, K.K. Yuen, *A study of the use of a performance-based approach to fire safety design in buildings*, Structural Survey (2008), Vol. 26 Iss: 2 pp. 131 – 141.
- [88] Mohammad A. Hassanain, *Fire safety in the design and operation of student housing facilities*, Structural Survey (2008), Vol. 26 Iss: 1 pp. 55 – 62.
- [162] Enrico Briano and Roberto Revetria, *A Study of Crowd Behavior in Emergency Tunnel Procedures*, International Journal of Mathematics and Computers in Simulation, (2008), Issue 4, Volume 2.
- [99] Mohammad A. Hassanain, *On the safe evacuation of occupants in multiplex facilities*, Structural Survey (2008), Vol. 26 Iss: 4 pp. 336 - 342.
- [103] Tang Fangqin, Ren Aizhu, *Agent-Based Evacuation Model Incorporating Fire Scene and Building Geometry*, Tsinghua Science and Technology ISSN 1007-0214 21/25 708-714, Volume 13, Number 5, October 2008.
- [164] Metin Dagdeviren, Ihsan Yuksel, *Developing a fuzzy analytic hierarchy process (AHP) model for behavior-based safety management*, Information Sciences 178 (2008) 1717–1733.
- [160] L.H. Hu, R. Huo, W.K. Chow, *Studies on buoyancy-driven back-layering flow in tunnel fires*, Experimental Thermal and Fluid Science 32 (2008) 1468–1483.
- [175] Daoliang Zhao, Lizhong Yang, Jian Li, *Occupants' behavior of going with the crowd based on cellular automata occupant evacuation model*, Physica A 387 (2008) 3708–3718.
- [172] Nuria Pelechano, Ali Malkawi, *Evacuation simulation models: Challenges in modeling high rise building evacuation with cellular automata approaches*, Automation in Construction 17 (2008) 377–385.
- [106] Tzu-Sheng Shena, Yu-Hsiang Huangb, Shen-Wen Chien, *Using fire dynamic simulation (FDS) to reconstruct an arson fire scene*, Building and Environment 43 (2008) 1036–1045.

- [174] Sharad Sharma, Harpreet Singh, Atul Prakash, *Multi-Agent Modeling and Simulation of Human Behavior Simulation of Human Behavior*, IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems Vol. 44, No. 4 October 2008.
- [110] P. Lin, S.M. Lo, H.C. Huang, K.K. Yuen, *On the use of multi-stage time-varying quickest time approach for optimization of evacuation planning*, Fire Safety Journal 43 (2008) 282–290.
- [108] Chris W. Johnson, *Using evacuation simulations for contingency planning to enhance the security and safety of the 2012 olympic venues*, Safety Science 46 (2008) 302–322.
- [119] D. Rusch, L. Blum, A. Moser, T. Roesgen, *Turbulence model validation for fire simulation by CFD and experimental investigation of a hot jet in crossflow*, Fire Safety Journal 43 (2008) 429–441.
- [126] Olivier Vauquelin, *Experimental simulations of fire-induced smoke control in tunnels using an “air-helium reduced scale model”: Principle, limitations, results and future*, Tunnelling and Underground Space Technology 23 (2008) 171–178.
- [134] Tang Fangqin, Zhang Xin, *A GIS-Based 3D Simulation for Occupant Evacuation in a Building*, Tsinghua Science and Technology ISSN 1007-0214, 10/67, pp58-64, Volume 13, Number S1, October 2008.
- [109] V. A. Oven, N. Cakici, *Modelling the evacuation of a high-rise office building in Istanbul*, Fire Safety Journal 44 (2009) 1–15.
- [100] Mohammad A. Hassanain, *On the challenges of evacuation and rescue operations in high-rise buildings*, Structural Survey (2009), Vol. 27 Iss: 2 pp. 109 – 118.
- [90] Michael J. Kinsey, Edwin R. Galea and Peter J. Lawrence, *Investigating the use of elevators for highrise building evacuation through computer simulation*, 4th Int Symp, Human Behaviour in Fire; Cambridge, UK, 13-15 July 2009.
- [80] Patrick van Hees and Daniel Nilsson, *Simulation of Critical Evacuation Conditions for Fire Scenarios involving Cables and Comparison of Different Cables*, Europacable Seminar “Safety during Fire”, Brussels 6th May 2009.
- [60] Jianyong Shi, Aizhu Ren, Chi Chen, *Agent-based evacuation model of large public buildings under fire conditions*, Automation in Construction 18 (2009) 338–347.
- [44] Daniela Hanea, Ben Ale, *Risk of human fatality in building fires: A decision tool using Bayesian networks*, Fire Safety Journal 44 (2009) 704–710.
- [73] Fahy, R.F.; Proulx, G., *Panic and human behaviour in fire*, Proceedings of the 4th International Symposium on Human Behaviour in Fire (Robinson College, Cambridge, UK, July 13, (2009), pp. 387-398.
- [200] Enrico Briano, Claudia Caballini, Roberto Mosca, Roberto Revetria, Alessandro Testa, *Using 2D and 3D Modeling and Simulation for Emergency Situations Management*, Recent Advances in Computer Engineering and Applications (2009).
- [38] Jae Seong Roh, Hong Sun Ryou, Won Hee Park, Yong Jun Jang, *CFD simulation and assessment of life safety in a subway train fire*, Tunnelling and Underground Space Technology 24 (2009) 447–453.
- [34] J. Izquierdo, I. Montalvo, R. Pérez, V.S. Fuertes, *Forecasting pedestrian evacuation times by using swarm intelligence*, Physica A 388 (2009) 1213-1220.
- [12] J.P. Yuan, Z. Fang, Y.C. Wang, S.M. Lo, P. Wang, *Integrated network approach of evacuation simulation for large complex buildings*, Fire Safety Journal 44 (2009) 266 – 275.
- [13] Shamus P. Smith, David Trenholme, *Rapid prototyping a virtual fire drill environment using computer game technology*, Fire Safety Journal 44 (2009) 559 – 569.
- [191] Robyn R.M. Gershon, *The world trade center evacuation study: factors associated with evacuation time and injury*, Human Behaviour in Fire Symposium 2009.
- [199] Enrico Briano, Roberto Revetria, Alessandro Testa, *Behaviour Models for the evacuation of a motorway tunnel*, 8th WSEAS International Conference on System Science and Simulation in Engineering, Genova, Italy, October 17-19, 2009.
- [20] Th. Robin, G. Antonini, M. Bierlaire, J. Cruz, *Specification, estimation and validation of a pedestrian walking behavior model*, Transportation Research Part B 43 (2009) 36–56.



- [27] Zheng Xiaoping, Zhong Tingkuan, Liu Mengting, *Modeling crowd evacuation of a building based on seven methodological approaches*, Building and Environment 44 (2009) 437 – 445.
- [28] R. Machado Tavares, E.R. Galea, *Evacuation modelling analysis within the operational research context: A combined approach for improving enclosure designs*, Building and Environment 44 (2009) 1005–1016.
- [149] H.Y. Wang, *Prediction of soot and carbon monoxide production in a ventilated tunnel fire by using a computer simulation*, Fire Safety Journal 44 (2009) 394–406.
- [65] Eleonora Papadimitriou, George Yannis, John Golias, *A critical assessment of pedestrian behaviour models*, Transportation Research Part F 12 (2009) 242–255.
- [157] E. Migoya, A. Crespo, J. Garcí, J. Hernandez, *A simplified model of fires in road tunnels. Comparison with three-dimensional models and full-scale measurements*, Tunnelling and Underground Space Technology 24 (2009) 37–52.
- [188] Daniel Nilsson, Anders Johansson, *Social influence during the initial phase of a fire evacuation — Analysis of evacuation experiments in a cinema theatre*, Fire Safety Journal 44 (2009) 71–79.
- [69] Erica D. Kuligowski, *The Process of Human Behavior in Fires*, NIST Technical Note 1632.
- [74] Mohammad A. Hassanain, *Approaches to qualitative fire safety risk assessment in hotel facilities*, Structural Survey (2009), Vol. 27 Iss: 4 pp. 287 – 300.
- [113] Rani A. Kady, Jerry Davis, *The effect of occupant characteristics on crawling speed in evacuation*, Fire Safety Journal 44 (2009) 451–457.
- [122] Marc Gandit, Dongo Remi Kouabenan, Sandrine Caroly, *Road-tunnel fires: Risk perception and management strategies among users*, Safety Science 47 (2009) 105–114.
- [129] Maria Chiara Leva, Massimiliano De Ambroggi, Daniela Grippa, Randall De Garis, Paolo Trucco, *Quantitative analysis of ATM safety issues using retrospective accident data: The dynamic risk modelling project*, Safety Science 47 (2009) 250–264.
- [136] Corinne Lampin-Maillet, Marielle Jappiot, Marlène Long, Denis Morge, Jean-Paul Ferrier, Oliver Sträter, *Characterization and mapping of dwelling types for forest fire prevention*, Computers, Environment and Urban Systems 33 (2009) 224–232.
- [115] Elvezia M. Cepolina, *Phased evacuation: An optimisation model which takes into account the capacity drop phenomenon in pedestrian flows*, Fire Safety Journal 44 (2009) 532–544.
- [66] Ellen-Wien Augustijn-Becker, Johannes Flacke, Bas Retsios, *Investigating the effect of different pre-evacuation behavior and exit choice strategies using agent-based modeling*, Procedia Engineering 3 (2010) 23–35.
- [29] Guan-Yuan Wu, Shen-Wen Chien, Yuan-Ting Huang, *Modeling the occupant evacuation of the mass rapid transit station using the control volume model*, Building and Environment 45 (2010) 2280–2288.
- [24] Hao Caib, Weiding Long, Xianting Li, Lingjuan Kong, Shuang Xiong, *Decision analysis of emergency ventilation and evacuation strategies against suddenly released contaminant indoors by considering the uncertainty of source locations*, Journal of Hazardous Materials 178 (2010) 101–114.
- [17] Oguzcan Oguz, Ates Akaydin, Turker Yilmaz, Ugur Gudukbay, *Emergency crowd simulation for outdoor environments*, Computers & Graphics 34 (2010) 136 – 144.
- [3] Miho Asano, Takamasa Iryo, Masao Kuwahara, *Microscopic pedestrian simulation model combined with a tactical model for route choice behavior*, Transportation Research Part C 18 (2010) 842–855.
- [81] Tsachi Ein-Dor, Mario Mikulincer, Phillip R. Shaver, *Effective Reaction to Danger: Attachment Insecurities Predict Behavioral Reactions to an Experimentally Induced Threat Above and Beyond General Personality Traits*, 2010.
- [45] Margrethe Kobes, Ira Helsloot, Bauke de Vries, Jos G. Post, *Building safety and human behaviour in fire: A literature review*, Fire Safety Journal 45 (2010) 1–11.
- [70] Edwin Richard Galea, Steven Deere, Gary Sharp, Lazaros Filippidis and Lynn Hulse, *Investigating the Impact of Culture on Evacuation Behaviour*, Proceedings of the 12th International

- Fire Science & Engineering Conference, Interflam 2010, 5-7th July 2010, University of Nottingham, UK, Volume 1, pp. 879-892. ISBN 978 0 9541216-5-5, 2010.
- [67] Campanella, M.C., Larusdottir A.R., Daamen, W., Dederichs, A.S., *Empirical data analysis and modelling of the evacuation of children from three multi-storey day-care centres*, 2010.
- [181] Margrethe Kobes, Ira Helsloot, Bauke de Vries, Jos Post, *Exit choice, (pre-)movement time and (pre-)evacuation behaviour in hotel fire evacuation – Behavioural analysis and validation of the use of serious gaming in experimental research*, *Procedia Engineering* 3 (2010) 37–51.
- [120] Sung-Han Koo, Jeremy Fraser-Mitchell, Stephen Welch, *Sensor-steered fire simulation*, *Fire Safety Journal* 45 (2010) 193–205.
- [148] Saiedeh Safaei Arshi, Mohammadreza Nematollahi, Kamran Sepanloo Coupling, *CFAST fire modeling and SAPHIRE probabilistic assessment software for internal fire safety valuation of typical TRIGA research reactor*, *Reliability Engineering and System Safety* 95 (2010) 166–172.
- [194] Zhiming Fang, Weiguo Song, Jun Zhang, Hao Wu, *Experiment and modeling of exit-selecting behaviors during a building evacuation*, *Physica A* 389 (2010) 815824.
- [62] Xiaoping Zheng, Mengting Liu, *Forecasting model for pedestrian distribution under emergency evacuation*, *Reliability Engineering and System Safety* 95 (2010) 1186–1192.
- [112] A.S. Miguel, J. Góis, J. Silva, *Study on workers' evacuation in an industrial company*, *Safety Science* 48 (2010) 1050–1053.
- [117] Gregor Lämmel, Dominik Grether, Kai Nagel, *The representation and implementation of time-dependent inundation in large-scale microscopic evacuation simulations*, *Transportation Research Part C* 18 (2010) 84–98.
- [124] Daniel Dressler, Martin Groß, Jan-Philipp Kappmeier, Timon Kelter, Joscha Kulbatzki, Daniel Plumpe, Gordon Schlechter, Melanie Schmidt, Martin Skutella, Sylvie Temme, *On the Use of Network Flow Techniques for Assigning Evacuees to Exits*, *Procedia Engineering* 3 (2010) 205–215.
- [19] Harrie C.M. Vorst, *Evacuation Models and Disaster Psychology*, *Procedia Engineering* 3 (2010) 15 – 21.
- [46] Mengting Liu, Xiaoping Zheng, Yuan Cheng, *Determining the effective distance of emergency evacuation signs*, *Fire Safety Journal* 46 (2011) 364–369.
- [163] Enrico Briano, Roberto Mosca, Roberto Revetria, and Alessandro Testa, *A Simplified Human Cognitive Approach for Supporting Crowd Modeling in Tunnel Fires Emergency Simulation*, IEA/AIE 2011, Part II, LNAI 6704, pp. 58–67, 2011.
- [47] Xiaoping Zheng, Yuan Cheng, *Modeling cooperative and competitive behaviors in emergency evacuation: A game-theoretical approach*, *Computers and Mathematics with Applications* 62 (2011) 4627–4634.
- [4] Aysu Sagun, Dino Bouchlaghem, Chimay J. Anumba, *Computer simulations vs. building guidance to enhance evacuation performance of buildings during emergency events*, *Simulation Modelling Practice and Theory* 19 (2011) 1007–1019.
- [8] Nirajan Shiwakoti, Majid Sarvi, Geoff Rose, Martin Burd, *Animal dynamics based approach for modeling pedestrian crowd egress under panic conditions*, *Transportation Research Part B* 45 (2011) 1433–1449.
- [11] Davood Golmohammadi, Daniel Shimshak, *Estimation of the evacuation time in an emergency situation in hospitals*, *Computers & Industrial Engineering* 61 (2011) 1256–1267.
- [21] Ren-Yong Guo, Hai-Jun Huang, S.C. Wong, *Collection, spillback, and dissipation in pedestrian evacuation: A network-based method*, *Transportation Research Part B* 45 (2011) 490–506.
- [43] YUAN Jian-ping, FANG Zheng, TANG Zhi, SUN Jia-yun, *Performance-Based Fire Safety Assessment of City Underwater Tunnel*, *Procedia Engineering* 11 (2011) 86–90.
- [150] Peizhong Yang, Xun Tan, Wang Xin, *Experimental study and numerical simulation for a storehouse fire accident*, *Building and Environment* 46 (2011) 1445-1459.
- [30] Zhixiang Fang, Qingquan Li, Qiuping Li, Lee D. Han, Dan Wang, *A proposed pedestrian waiting-time model for improving space-time use efficiency in stadium evacuation scenarios*, *Building and Environment* 46 (2011) 1774-1784.

- [54] Marco Di Francesco, Peter A. Markowich, Jan-Frederik Pietschmann, Marie-Therese Wolfram, *On the Hughes' model for pedestrian flow: The one-dimensional case*, J. Differential Equations 250 (2011) 1334–1362.
- [31] Karthik Vasudevan, Young-Jun Son, *Concurrent consideration of evacuation safety and productivity in manufacturing facility planning using multi-paradigm simulations*, Computers & Industrial Engineering 61 (2011) 1135–1148.
- [156] CHU Yan-yan, LIANG Dong, ZHANG Hui, *Multi-factor Risk Analysis in a Building Fire by Two Step Cluster*, Procedia Engineering 11 (2011) 658–665.
- [180] Jérémy Patrix, Abdel-illah Mouaddib, Sylvain Gatepaille, *Detection of primitive collective behaviors in a crowd panic simulation based on a multi-agent approach*, ICSI 2011: International conference on swarm intelligence, Cergy, France.
- [166] Uwe Rüppel, Kristian Schatz, *Designing a BIM-based serious game for fire safety evacuation simulations*, Advanced Engineering Informatics 25 (2011) 600–611.
- [35] Xiaoping Zheng, Yuan Cheng, *Conflict game in evacuation process: A study combining Cellular Automata model*, Physica A 390 (2011) 1042–1050.
- [36] Yuan Weifeng, Tan Kang Hai, *A model for simulation of crowd behaviour in the evacuation from a smoke-filled compartment*, Physica A 390 (2011) 4210–4218.
- [76] Carattin, E., *Wayfinding architectural criteria for the design of complex environments in emergency scenarios*, Advanced research workshop proceedings (ed. Jorge A. Capote, Daniel Alvear) Santander oct. 21st 2011, Universidad de Cantabria, pp. 209-222.
- [153] J. Mao, Y.H.Xi, G.Bai, H.M.Fan, H.Z.Ji, *A model experimental study on back draught in tunnel fires*, Fire Safety Journal 46 (2011) 164–177.
- [189] Huang De-Ching, Chien Shen-Wen, Lin Chien-Hung, Huang Po-Ta, Song Yi-Ting, Sie Huei-Ru, *A Study for the Evacuation of Hospital on Fire during Construction*, Procedia Engineering 11 (2011) 139–146.
- [105] WANG Qing-song, ZHANG Yi, SUN Jin-hua, Jennifer Wen, Siaka Dembele, *Temperature and Thermal Stress Simulation of Window Glass Exposed to Fire*, Procedia Engineering 11 (2011) 452–460.
- [116] Zhixiang Fang, Xinlu Zong, Qingquan Li, Qiuping Li, Shengwu Xiong, *Hierarchical multi-objective evacuation routing in stadium using ant colony optimization approach*, Journal of Transport Geography 19 (2011) 443–451.
- [121] Tseng Wei-Wen, Pan Kuo-Hsiung, Hsu Che-Ming, *Performance-based Fire Safety Design for Existing Small-scale Hospitals*, Procedia Engineering 11 (2011) 514–521.
- [137] M. Liu, S.M. Lo, *The quantitative investigation on people's pre-evacuation behavior under fire*, Automation in Construction 20 (2011) 620–628.
- [118] S. Bretschneider, A. Kimms, *A basic mathematical model for evacuation problems in urban areas*, Transportation Research Part A 45 (2011) 523–539.
- [9] Xiang Chen, Mei-Po Kwan, Qiang Li, Jin Chen, *A model for evacuation risk assessment with consideration of pre- and post-disaster factors*, Computers, Environment and Urban Systems 36 (2012) 207–217.
- [5] Jeongin Koo, Yong Seog Kim, Byung-In Kim, *Estimating the impact of residents with disabilities on the evacuation in a high-rise building: A simulation study*, Simulation Modelling Practice and Theory 24 (2012) 71–83.
- [6] J.K.K. Yuen, E.W.M. Lee, *The effect of overtaking behavior on unidirectional pedestrian flow*, Safety Science 50 (2012) 1704–1714.
- [16] Hu Si, Hong Ji, Xiaohong Zeng, *Quantitative risk assessment model of hazardous chemicals leakage and application*, Safety Science 50 (2012) 1452–1461.
- [18] Ann Vanclooster, Tijs Neutens, Veerle Fack, Nico Van de Weghe, Philippe De Maeyer, *Measuring the exitability of buildings: A new perspective on indoor accessibility*, Applied Geography 34 (2012) 507-518.
- [72] Robson dos Santos França, Maria das Graças B. Marietto, Margarethe Born Steinberger and Nizam Omar, *Simulating Collective Behavior in Natural Disaster Situations: A Multi-Agent Approach*, Earthquake Research and Analysis - Statistical Studies, Observations and Planning.

- [22] Paul M. Torrens, Atsushi Nara, Xun Li, Haojie Zhu, William A. Griffin, Scott B. Brown, *An extensible simulation environment and movement metrics for testing walking behavior in agent-based models*, Computers, Environment and Urban Systems 36 (2012) 1–17.
- [51] Shi Congling, Zhong Maohua, Nong Xingzhong, He Li, Shi Jiehong, Feng Guoguan, *Modeling and safety strategy of passenger evacuation in a metro station in China*, Safety Science 50 (2012) 1319–1332.
- [52] Rani A. Kady, *The development of a movement–density relationship for people going on four in evacuation*, Safety Science 50 (2012) 253–258.
- [55] Nitish Chooramun, Peter J. Lawrence, Edwin R. Galea, *An agent based evacuation model utilising hybrid space discretisation*, Safety Science 50 (2012) 1685–1694.
- [187] Ciro Caliendo, Paolo Ciambelli, Maria Luisa De Guglielmo, Maria Grazia Meo, Paola Russo, *Simulation of People Evacuation in the Event of a Road Tunnel Fire*, Procedia - Social and Behavioral Sciences 53 (2012) 178 – 188.
- [196] Ren-Yong Guo, Hai-Jun Huang, S.C. Wong, *Route choice in pedestrian evacuation under conditions of good and zero visibility: Experimental and simulation results*, Transportation Research Part B 46 (2012) 669–686.
- [56] M. Davidich, G. Köster, *Towards automatic and robust adjustment of human behavioral parameters in a pedestrian stream model to measured data*, Safety Science 50 (2012) 1253–1260.
- [57] Kardi Teknomo, Proceso Fernandez, *Simulating optimum egress time*, Safety Science 50 (2012) 1228–1236.
- [192] Emilio N.M. Cirillo, Adrian Muntean, *Can cooperation slow down emergency evacuations?*, C. R. Mecanique 340 (2012) 625–628.
- [167] Fangqin Tang, Aizhu Ren, *GIS-based 3D evacuation simulation for indoor fire*, Building and Environment 49 (2012) 193–202.
- [58] R.D. Peacock, B.L. Hoskins, E.D. Kuligowski, *Overall and local movement speeds during fire drill evacuations in buildings up to 31 stories*, Safety Science 50 (2012) 1655–1664.
- [59] Edwin Richard Galea, *Evacuation and Pedestrian Dynamics Guest Editorial – 21st Century Grand Challenges in Evacuation and Pedestrian Dynamics*, Safety Science 50 (2012) 1653–1654.
- [195] Vi Ha, George Lykotrafitis, *Agent-based modeling of a multi-room multi-floor building emergency evacuation*, Physica A 391 (2012) 2740–2751.
- [198] S.A. Soria, R. Josens, D.R. Parisi, *Experimental evidence of the “Faster is Slower” effect in the evacuation of ants*, Safety Science 50 (2012) 1584–1588.
- [68] Yuan Chunmiao, Li Chang, Li Gang, Zhang Peihong, *Safety evacuation in building engineering design by using BuildingExodus*, Systems Engineering Procedia 5 (2012) 87 – 92.
- [138] Matthew Manley, Yong Seog Kim, *Modeling emergency evacuation of individuals with disabilities (exitus): An agent-based public decision support system*, Expert Systems with Applications 39 (2012) 8300–8311.
- [182] Alessandro Arborea, Giorgio Cucurachi, Giorgio Mossa, *Performance-based fire protection of historic buildings in the Italian perspective: a simulative approach*, XVII Summer School "Francesco Turco" - Industrial Mechanical Plants, Venice (Italy), 12-14 September 2012.
- [154] Chu Guanquan, Wang Jinhui, *Study on probability distribution of fire scenarios in risk assessment to emergency evacuation*, Reliability Engineering and System Safety 99 (2012) 24–32.
- [37] Chen Chang-Kuna, Li Jian, Zhang Dong, *Study on evacuation behaviors at a T-shaped intersection by a force-driving cellular automata model*, Physica A 391 (2012) 2408–2420.
- [184] Jaekoo Joo, Namhun Kim, Richard A. Wysocki, Ling Rothrock, Young-Jun Son, Yeong-gwang Oh, Seunggho Lee, *Agent-based simulation of affordance-based human behaviors in emergency evacuation*, Simulation Modelling Practice and Theory 32 (2013) 99–115.
- [186] Enrico Ronchi, Pasquale Colonna, Nicola Berloco, *Reviewing Italian Fire Safety Codes for the analysis of road tunnel evacuations: Advantages and limitations of using evacuation models*, Safety Science 52 (2013) 28–36.
- [197] Max Kinateter, Paul Pauli, Mathias Müller, Jürgen Krieger, Frank Heimbecher, Inga Rönnau, Ulrich Bergerhausen, Götz Vollmann, Peter Vogt, Andreas Mühlberger, *Human behaviour in severe*



tunnel accidents: Effects of information and behavioural training, Transportation Research Part F 17 (2013) 20–32.

[193] Jeongin Koo, Yong Seog Kim, Byung-In Kim, Keith M. Christensen, *A comparative study of evacuation strategies for people with disabilities in high-rise building evacuation*, Expert Systems with Applications 40 (2013) 408–417.

[64] Xiwei Guo, Jianqiao Chen, Suozhu You, Junhong Wei, *Modeling of pedestrian evacuation under fire emergency based on an extended heterogeneous lattice gas model*, Physica A, 2013.

[190] Jorge A. Capote, Daniel Alvear, Orlando Abreu, Arturo Cuesta, Virginia Alonso, *A real-time stochastic evacuation model for road tunnels*, Safety Science 52 (2013) 73–80.

[185] J. Ma, S.M. Lo, W.G. Song, W.L. Wang, J. Zhang, G.X. Liao, *Modeling pedestrian space in complex building for efficient pedestrian traffic simulation*, Automation in Construction 30 (2013) 25–36.

[183] Daniela Knuth, Doris Kehl, Lynn Hulse, Silke Schmidt, *Perceived distress during fires e The impact of perceived emergency knowledge*, Journal of Environmental Psychology 34 (2013) 10–17.

SITOGRAFIA CAPITOLO VI

- {1} www.sciencedirect.com
- {2} www.scholar.google.it
- {3} www.biblio.unina.it
- {4} www.springerlink.com
- {5} www.sirelib.unina.it
- {6} www.ieee.org
- {7} www.elsevier.com
- {8} www.jstor.org



CAPITOLO VII

CASE STUDY: IMPLEMENTAZIONE DI UN MODELLO SIMULATIVO PER LA DETERMINAZIONE DI PIANI DI EVACUAZIONE DINAMICI

Premessa

L'analisi di tipo top – down condotta sino a questo punto ha permesso di analizzare nello specifico la gestione del rischio incendio ed i parametri fondamentali da considerare per una corretta evacuazione in caso di emergenza.

Lo step successivo consisterà nello sviluppare un case study che consenta di mettere in luce come la simulazione possa essere utilizzata come integrazione alle tradizionali tecniche per la progettazione e la formazione antincendio, così da determinare piani di evacuazione dinamici.

Nello specifico, nel presente capitolo, partendo da uno studio preliminare sull'andamento dei fumi e dei tempi di evacuazione (statici) all'interno di uno stabilimento industriale in seguito al verificarsi di un incendio, si è implementato un modello che permettesse di verificare, tramite la simulazione, in che modo il comportamento umano influisse sulle modalità e sui tempi di fuga.



7.1 Studio Preliminare

Tratto da: *Simulazione di incendio in un reparto di produzione di uno stabilimento industriale mediante modello CDF: FDS2 Applicato allo studio dell'andamento dei fumi*. A. Ferrari, G. Coppola, L. Nigro [1].

Lo scopo dello studio è quello di prevedere l'andamento dei fumi prodotti da un incendio campione, definito in base alla quantità e al tipo di materiale combustibile, innescatosi all'interno di uno stabilimento industriale. Per fare ciò si è utilizzato un modello di simulazione CFD (Computational Fluid Dynamics) denominato FDS (Fire Dynamics Simulator) che simula l'incendio e ne predice gli effetti. Ad esso è associato Smokeview che è un post-processore grafico che permette di analizzare i dati precedentemente prodotti.

7.1.1 I materiali combustibili

In seguito ad una ispezione è stato possibile valutare la presenza di materiale combustibile nell'area contraddistinta da percorsi di esodo di lunghezza elevata. È stato identificato il maggior carico di incendio come quello costituito dallo stoccaggio di materiale destinato all'imballo dei prodotti dolciari, in particolare:

- × 40 scatole da 6 kg ciascuna in cartone ondulato e contenenti vaschette in polistirolo non espanso per un totale di 240 kg;
- × L'area della superficie occupata a pavimento dal materiale è di circa $3,5 \text{ m}^2$ (1 m per 3,5 m), per un'altezza di 1,5 m.



Determinata la tipologia del materiale è stato poi possibile definire la reazione chimica di combustione da utilizzare nel modello (polystyrene) in modo tale da prevedere la quantità di fumi prodotta dall'incendio ed il loro andamento spazio-temporale nel modo più accurato.

Per quanto riguarda l'accensione del combustibile si è fatto ricorso ad una sorgente di modesta potenza (60 kW) ma sufficiente a rendere possibile l'instaurarsi della combustione del materiale in tempi dell'ordine della decina di secondi.

Per la determinazione dei tempi di evacuazione non è significativa la durata della fase di incubazione (di cui non è possibile conoscere l'inizio e l'andamento) quanto piuttosto l'istante in cui l'incendio risulta essere rivelato.

È noto (Drysedale D., 1998, p. 323 [2]) che nel caso di un fenomeno reale il tempo di incubazione dell'incendio è variabile e può dipendere da numerosi fattori, come ad esempio la natura dell'innesco, la sua posizione e le proprietà del primo elemento incendiato. Tuttavia, una volta raggiunta la temperatura di accensione del combustibile, lo sviluppo dinamico dell'incendio sino al valore di potenza erogata a regime può essere descritto mediante un profilo parabolico (Drysedale D., 1998, p. 323 [2]; Quintiere, 1998, p.123 [3]) secondo la relazione introdotta da Heskestad (Heskestad, 1991 [4]):

$$\dot{Q} = \alpha (t - t_0)^2 \quad [\text{kW}] \quad (7.1)$$

essendo \dot{Q} la potenza rilasciata dall'incendio, α [kW/s²] un parametro di proporzionalità caratteristico del combustibile e della sua velocità di combustione, t il tempo e t_0 il tempo corrispondente alla lunghezza del periodo di incubazione.

Ne consegue che agli effetti della determinazione dei tempi di evacuazione non è significativa la durata della fase di incubazione - di cui nella realtà in generale non è possibile conoscere l'inizio e l'andamento - quanto piuttosto l'istante in cui l'incendio risulta essere rivelato, che a sua volta dipende con

legge parabolica dall'istante in cui il combustibile viene coinvolto dal processo di combustione vero e proprio.

In definitiva, come sorgente di innesco dell'incendio, è stato utilizzato un focolaio della potenza costante di circa 60 kW a partire dall'istante $t=0$ e collocato in prossimità della base del materiale combustibile.

7.1.2 Geometria dell'edificio

L'area della simulazione è costituita da una porzione di fabbricato di ampiezza pari a 20 m, lunghezza 122 m ed altezza pari a 9 m. La copertura a doppia falda è ottenuta mediante tegoli a doppia T poggiati su travi.

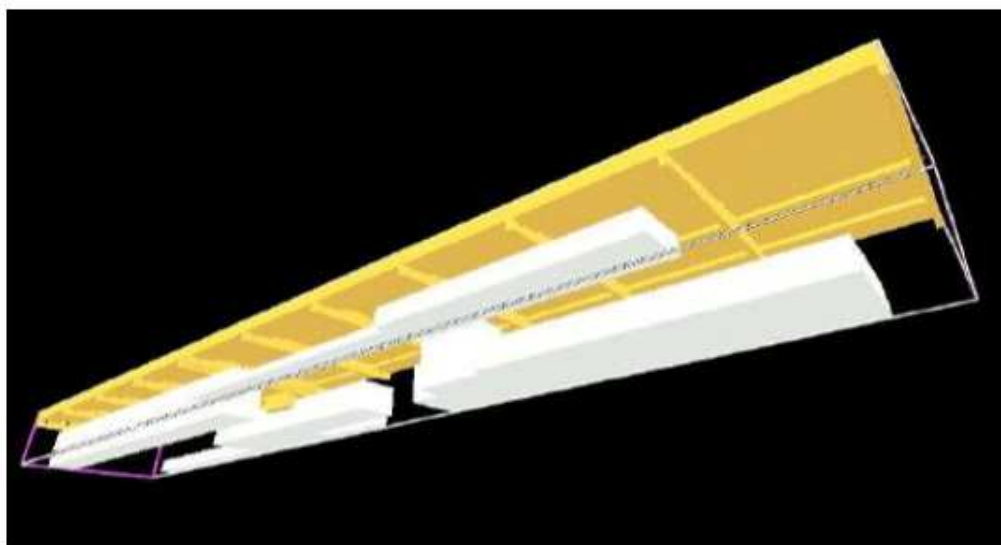


Figura 7. 1 - Area della simulazione

Il modello FDS consente di descrivere con accurata precisione tutti i particolari geometrici (ad esempio gli elementi del timpano). Tale caratteristica è essenziale per poter ottenere un andamento dei fumi verosimilmente rispondente alla realtà.

L'incendio è stato collocato approssimativamente al centro e le condizioni alle estremità del dominio di simulazione (60 m dal centro in direzioni opposte) sono state modellate come aperte verso il resto dello stabilimento.

7.1.3 Verifica dei parametri di simulazione e del modello di fuoco campione

La descrizione del dominio di simulazione è stata poi verificata mediante l'esecuzione di alcuni run test del programma di simulazione e l'analisi grafica dei risultati con Smokeview. È stata realizzata una serie di simulazioni a geometria ridotta al fine di ottenere, in tempi brevi, risultati che consentissero lo studio e la verifica del modello del fuoco campione.

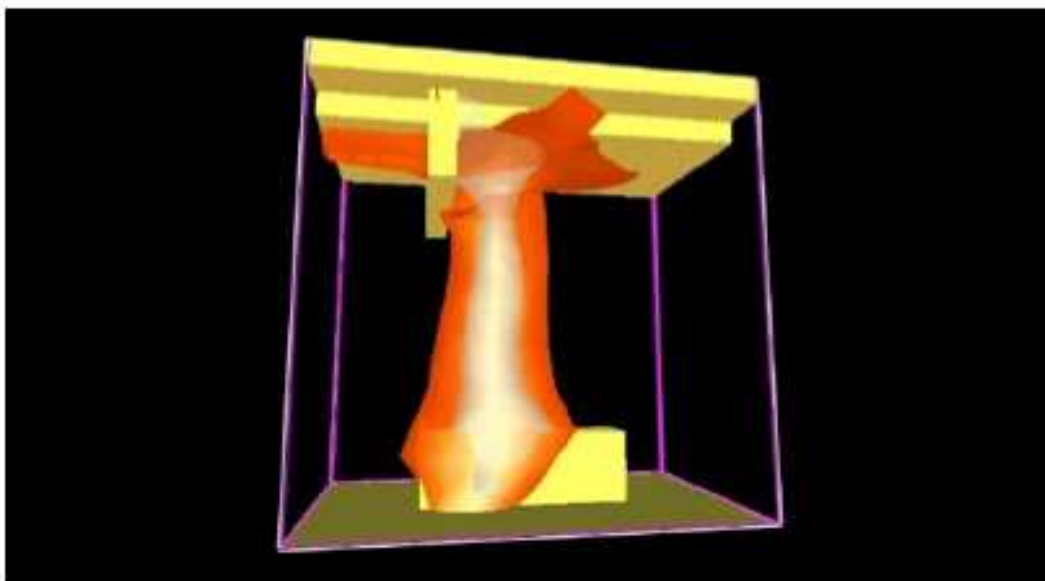


Figura 7. 2 - Simulazione del fuoco campione a geometria ridotta

Tali *run* di verifica dell'assetto della simulazione hanno il fine di evidenziare eventuali comportamenti difforni da quanto atteso in base alla teoria della



dinamica dell'incendio e nello specifico non si sono riscontrate anomalie. Inoltre è stato necessario definire il tipo e le modalità di produzione e di visualizzazione dei dati prodotti dalla simulazione, scegliendo di produrre risultati sia sotto forma di tabelle con i parametri numerici di interesse, sia di immagini di più immediata interpretazione.

7.1.4 Fasi temporali dello sviluppo dell'incendio in relazione all'esodo

- ⇒ Ignizione: la fase di innesco dell'incendio non è molto significativa ai fini della simulazione in quanto per l'accensione è stata utilizzata una sorgente di modesta entità che nell'ambito del range di potenza di incubazione dell'incendio ha condotto all'accensione del combustibile in circa 28 secondi.
- ⇒ Rivelazione dell'incendio: nell'area oggetto della simulazione non sono presenti rivelatori di incendio automatici, tuttavia sono presenti pulsanti di allarme manuale. Di conseguenza non essendo verosimile la possibilità che l'eventuale incendio venga rivelato fin dalle fasi precoci di incubazione, come istante di rivelazione si è assunto il momento in cui l'incendio produce fumo in quantità apprezzabile e fiamma, aumentato di un margine di 60 secondi. Si assume quindi come istante di accensione t_0 l'istante in cui fiamma e fumo divengono visibili e precisamente $t_0 = 28$ s. Per cui si avrà che:

$$t_{\text{rivelazione incendio}} = 88 \text{ s} \quad (7.2)$$

- ⇒ Inizio processo di evacuazione: tra l'istante di rivelazione dell'incendio ed il momento in cui il processo di evacuazione ha effettivamente inizio può intercorrere un ritardo che, dipendendo da molteplici fattori, può essere in generale

stimabile in 60-120 secondi. Per quanto riguarda l'oggetto dello studio, l'intervallo di inizio evacuazione è stato conservativamente ritenuto pari a 2 minuti, di conseguenza:

$$t_{\text{inizio evacuazione}} = 120 \text{ s} \quad (7.3)$$

⇒ Completa Evacuazione: il percorso di esodo più sfavorito è di lunghezza pari a 90 m. Assumendo in modo cautelativo che la velocità di spostamento sia pari a 0,5 m/s, valore inferiore alla metà del valore di velocità di esodo tipicamente adottato in letteratura per condizioni normali, è possibile determinare il tempo necessario per raggiungere un luogo sicuro a partire dalla postazione di lavoro più sfavorita:

$$t_{\text{luogo sicuro}} = 180 \text{ s} \quad (7.4)$$

⇒ Tempo di evacuazione complessivo: il tempo di evacuazione complessivo considerato a partire dall'istante in cui l'incendio viene rivelato può essere così determinato:

$$t_{\text{complessivo}} = t_{\text{inizio evacuazione}} + t_{\text{luogo sicuro}} + \text{margine di sicurezza} = 120\text{s} + 180\text{s} + 60\text{s} = 360 \text{ s} \quad (7.5)$$

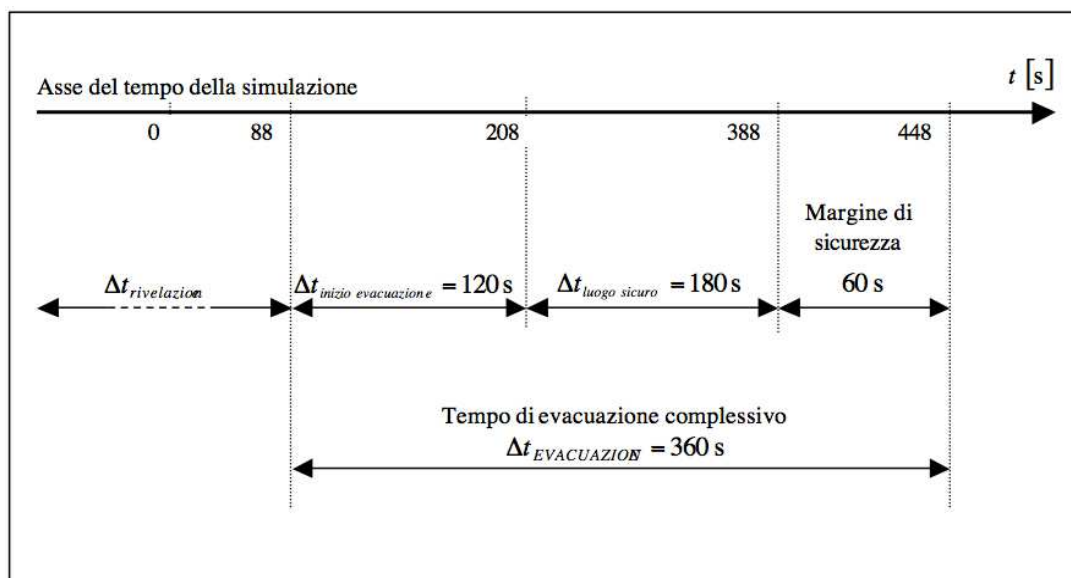


Figura 7.3 - Andamento temporale del processo di esodo

7.1.5 Andamento temporale della potenza rilasciata

Nella figura 7.4 sono riportati i primi dieci minuti di simulazione (dei 15 totali) in cui l'incendio mostra il tipico andamento parabolico crescente, secondo la relazione introdotta da Heskestad (7.1), sino al valore di circa 4 MW mantenuto a regime.

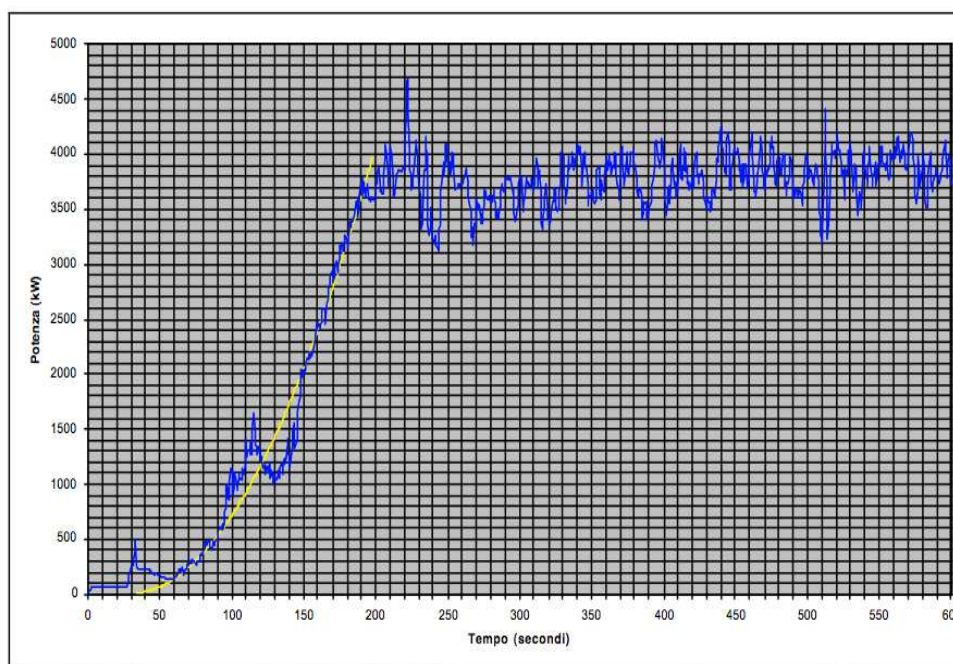


Figura 7. 4 - Andamento temporale della potenza rilasciata dall'incendio (blu) ed andamento parabolico teorico (giallo)

La costante di proporzionalità che si ricava dai dati prodotti dalla simulazione assume il valore:

$$\alpha = 0,1384 \quad [\text{kW/s}^2] \quad (7.6)$$

In base a queste considerazioni è possibile classificare la tipologia di sviluppo dell'incendio come *ultrafast*.

7.1.6 Andamento della distribuzione spazio-temporale dei fumi

Nelle figure 7.5 e 7.6 viene mostrata la distribuzione spaziale dei fumi ad intervalli di 60 secondi a partire dall'inizio della simulazione; in particolare le superfici delimitano porzioni del volume al di fuori delle quali la concentrazione di fumo è trascurabili ai fini della visibilità.

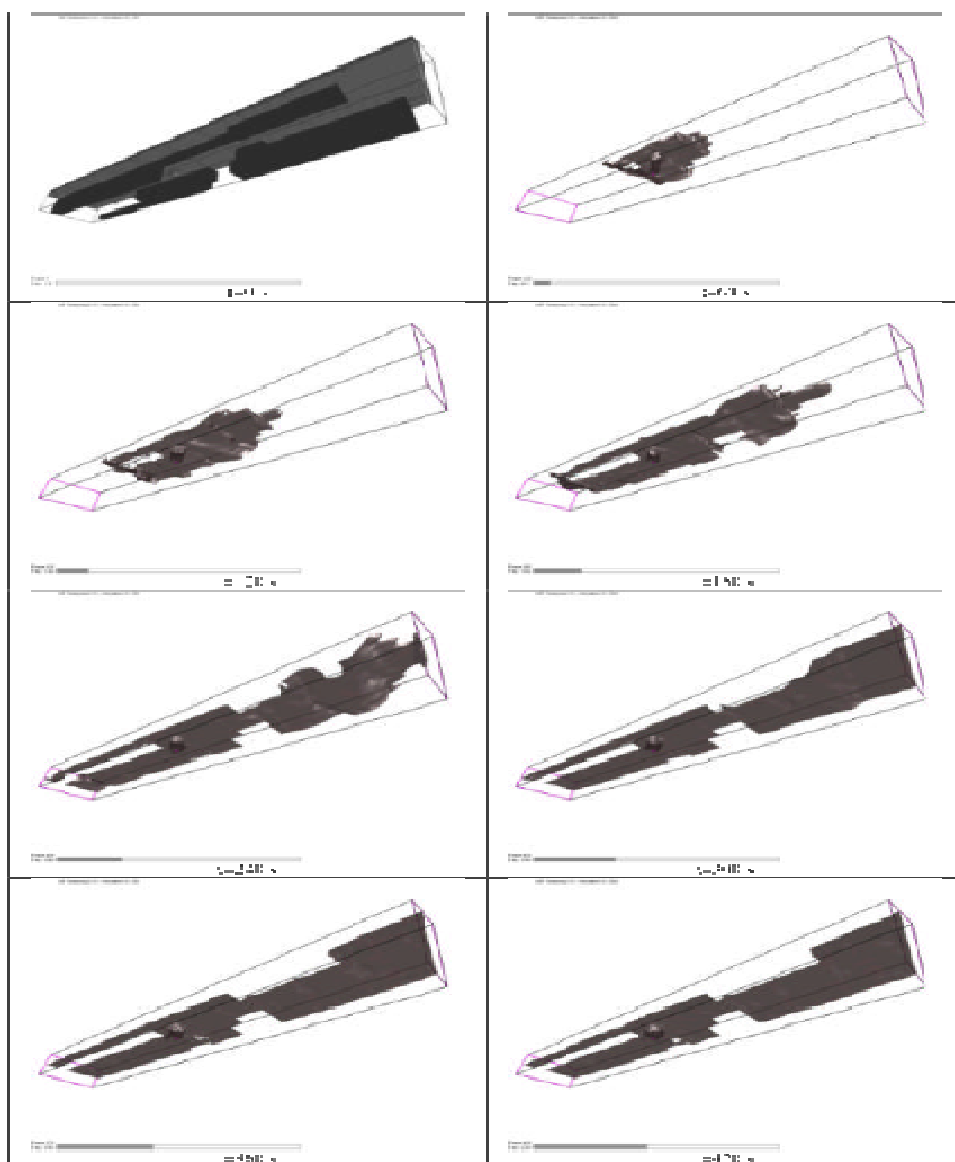


Figura 7. 5 - Distribuzione dei fumi ad intervalli di 60 secondi (I)

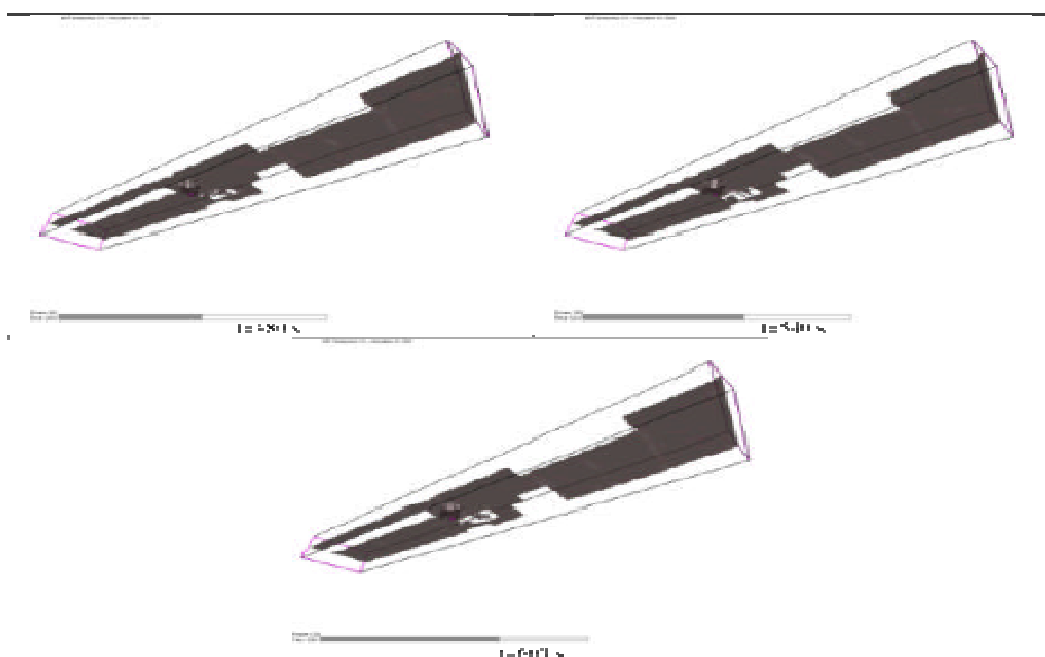


Figura 7. 6 - Distribuzione dei fumi ad intervalli di 60 secondi (II)

7.1.7 Concentrazione dei fumi e condizioni di visibilità

Nell'immagine di Figura 7.7 è possibile notare come la concentrazione di fumo, evidenziata nel piano verticale lungo il percorso delle vie di esodo all'istante di completa evacuazione, sia tale per cui nella parte bassa del dominio si mantengano condizioni di buona visibilità. Per ulteriore riferimento, si ricordi che l'altezza massima del dominio è pari a 9 metri.

Nella Tabella 7.1 è possibile valutare le concentrazioni di fumo relative a 3 posizioni poste lungo il dominio nel corridoio corrispondente alle vie di fuga, all'altezza di 2 e 5 m da terra (una in prossimità dell'incendio e due a circa 50 m di distanza dall'incendio verso le due estremità del dominio).

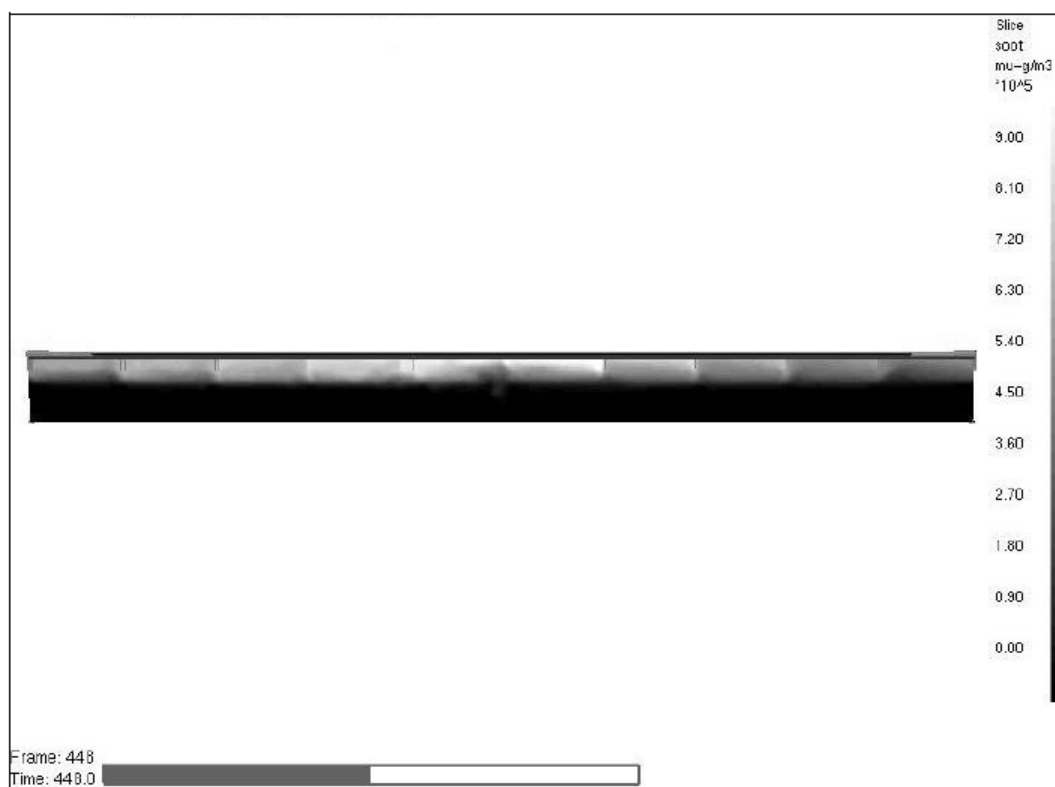


Figura 7.7 – Concentrazione del fumo all'istante di completa evacuazione

Tabella 7.1 – Concentrazione del fumo

Coordinate del punto di misura (x; y; z) [m]	Densità di fumo [mg/m^3]					
	Valori a 2 m da terra			Valori a 5 m da terra		
	(12; 13; 2)	(60; 10; 2)	(110; 10; 2)	(12; 13; 5)	(60; 10; 5)	(110; 10; 5)
t=0 s	0	0	0	0	0	0
t=60 s	0	0	0	0	0	0
t=120 s	0	0	0	0	0	0
t=180 s	0	0	0	0	3,97E+04	3,98E+04
t=240 s	0	0	0	7,91E+04	9,77E+04	7,89E+04
t=300 s	0	0	0	9,83E+04	1,16E+05	1,18E+05
t=360 s	0	0	0	9,83E+04	1,54E+05	1,37E+05
t=420 s	0	0	0	1,37E+05	1,72E+05	1,56E+05
t=448 s	0	0	0	1,37E+05	1,79E+05	1,75E+05
t=480 s	0	0	0	1,37E+05	1,72E+05	1,75E+05

La visibilità, ovvero la capacità di vedere oggetti attraverso il fumo, può essere ricavata conoscendo concentrazione e caratteristiche di opacità del fumo.



Come è noto (Quintiere, 1998, p.162 [3]; Drysdale D., 1998, p. 381 [2]), l'intensità della luce monocromatica che attraversa la distanza L nel fumo è attenuata secondo la legge:

$$\frac{I}{I_0} = e^{-K/L} \quad (7.7)$$

Il coefficiente di assorbimento K è ricavabile da un coefficiente di assorbimento riferito all'unità di massa K_m caratteristico del combustibile e dalla densità del fumo, calcolata dalla simulazione. È stato utilizzato il valore $K_m = 7600 \text{ m}^2/\text{kg}$, valore opportuno per combustione con produzione di fiamma di legno e plastica.

La visibilità di un oggetto dipende inoltre dal tipo di illuminazione cui è sottoposto: nella simulazione, in via conservativa, si sono considerate le condizioni di visibilità riferite ad oggetti illuminati da fonti esterne. Nella Tabella 7.2 è indicata la visibilità calcolata, relativa ai medesimi punti del caso precedente; si noti che il valore 300 m indica il limite di visibilità non perturbata dall'incendio assunto in questo caso dal programma.

Tabella 7.2 – Condizioni di visibilità

Coordinate del punto di misura (x; y; z) [m]	Visibilità[m]					
	Valori a 2 m da terra			Valori a 5 m da terra		
	(12; 13; 2)	(60; 10; 2)	(110; 10; 2)	(12; 13; 5)	(60; 10; 5)	(110; 10; 5)
t=0 s	300	300	300	300	300	300
t=60 s	300	300	300	300	300	300
t=120 s	300	300	300	300	300	300
t=180 s	300	300	300	300	9,95	9,91
t=240 s	300	300	300	4,99	4,04	5,01
t=300 s	300	300	300	4,02	3,39	3,36
t=360 s	300	300	300	4,02	2,56	2,89
t=420 s	300	300	300	2,88	2,29	2,53
t=448 s	300	300	300	2,88	2,21	2,26
t=480 s	300	300	300	2,88	2,29	2,26

Si può quindi affermare che all'istante di completa evacuazione la concentrazione di fumo prevista dalla simulazione è tale da consentire condizioni di visibilità superiori a 90 m che è, come abbiamo detto in precedenza, la lunghezza del più sfavorito percorso di esodo.

7.2 Processo produttivo e layout di produzione

Per poter sviluppare il modello di evacuazione è stato analizzato il processo produttivo all'interno del reparto oggetto di studio. L'impianto è adibito alla produzione di cioccolato-torrone-creme e più precisamente nell'area di interesse avvengono il confezionamento, la pallettizzazione e l'imballaggio. In Figura 7.8 si riporta il diagramma di flusso della produzione.

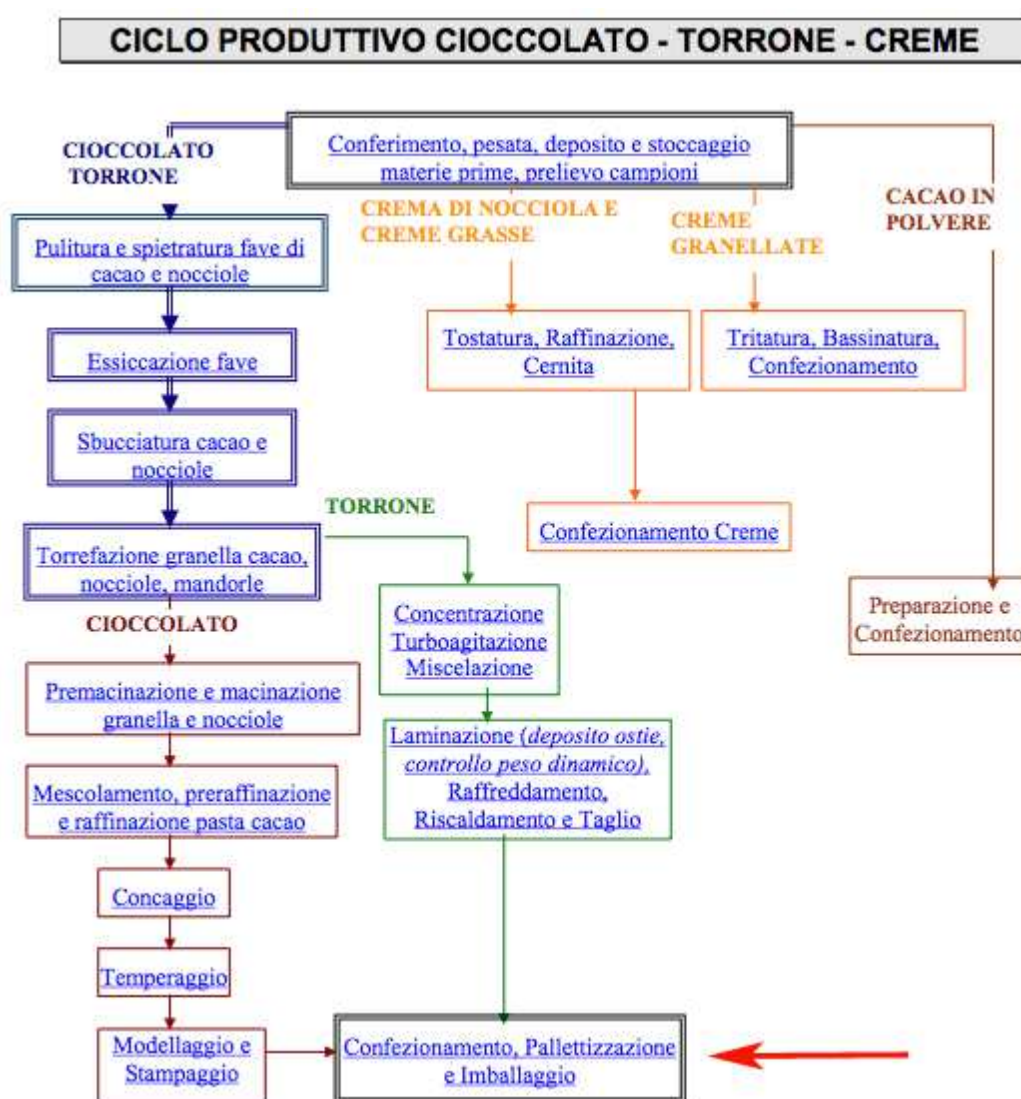


Figura 7.8 – Ciclo di produzione



Capitolo VII – *Case study: implementazione di un modello simulativo per la determinazione di piani di evacuazione dinamici*

Tutto il processo avviene lungo tre linee di produzione posizionate alla stessa distanza tra loro. Ad ogni linea è associato uno specifico prodotto: si avrà quindi: linea cioccolato, linea torrone e linea creme. Il reparto è stato poi suddiviso in diverse zone, ognuna contraddistinta da uno specifico colore, a cui corrispondono diversi percorsi di esodo. Attenendosi poi alle disposizioni legislative, è stato calcolato il numero di uscite di emergenza, di estintori, di segnali, etc. e sono stati collocati alla giusta distanza. Sempre rifacendosi allo studio preliminare, sono stati ritenuti assenti tutti gli impianti di spegnimento automatici (sprinkler).

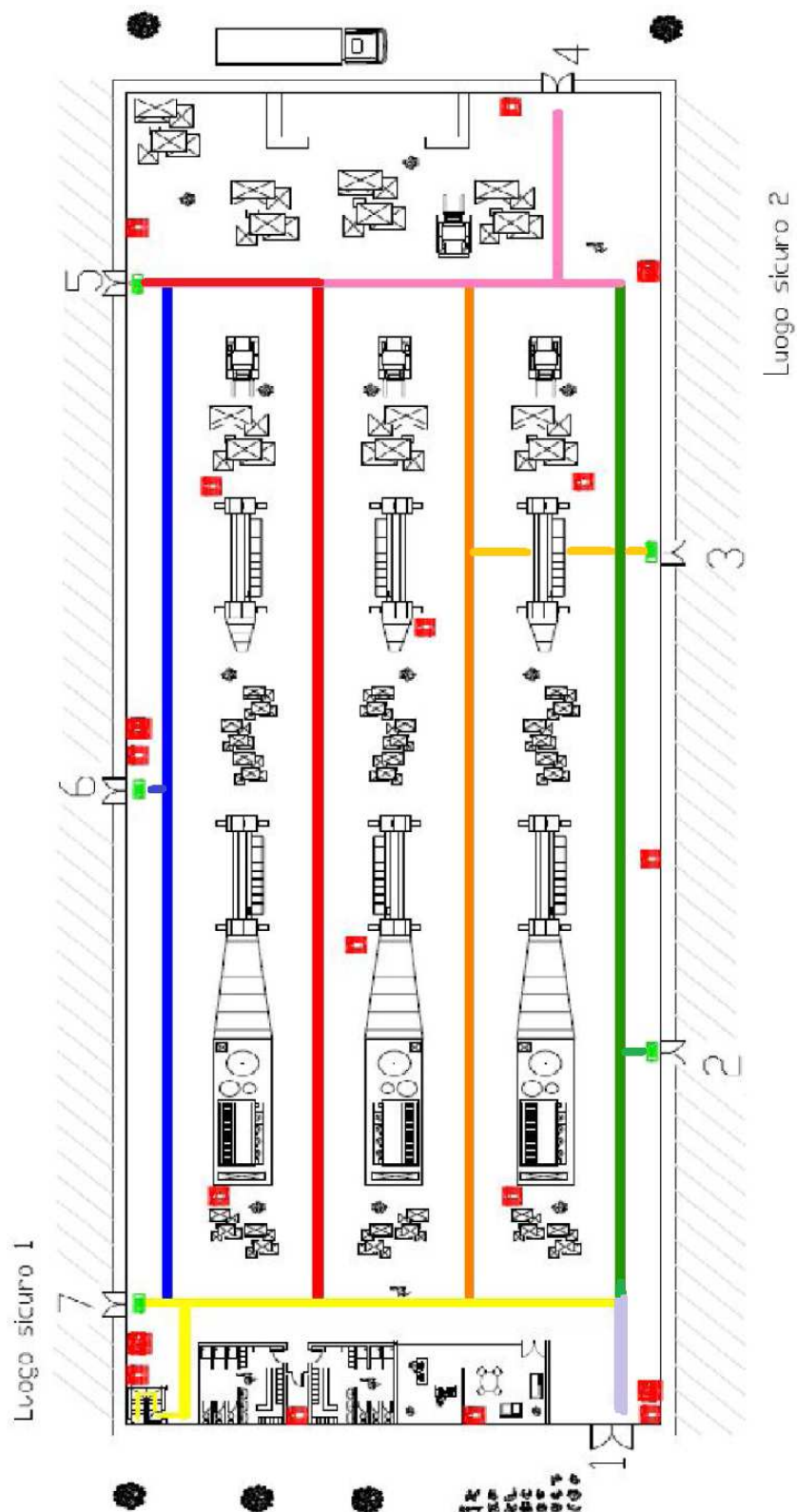


Figura 7.9 – Planimetria



7.3 Arena Simulation Software

Il modello di simulazione considerato è stato costruito utilizzando il software Arena, ideato per sistemi operativi Windows e sviluppato dalla Rockwell Automation. Tramite Arena l'utente è in grado di:

- *Modellare* i processi per definire, documentare e comunicare;
- *Simulare* le future configurazioni del sistema per identificare le possibili opportunità di miglioramento;
- *Visualizzare* le operazioni con animazioni grafiche e dinamiche;
- *Analizzare* come il sistema evolve nella sua configurazione “classica” ed in quelle alternative in modo tale da poter scegliere quale sia la soluzione migliore per l'avanzamento del processo.

Arena è innovativo perché il linguaggio di programmazione che utilizza, SIMAN, è incorporato all'interno di vari blocchi presenti nella schermata principale del software. In questo modo non è necessario scrivere righe di codice perché il processo di creazione diventa di tipo grafico/visivo.

Gli elementi principali su cui si basa il software sono:

- *Entità*: oggetti che attraversano il sistema e che tramite azioni ne modificano lo stato (clienti, veicoli, pezzi, etc);
- *Attributi*: caratteristiche specifiche delle entità (tipo di lavorazione, tempo di arrivo, etc);
- *Risorse*: elementi del sistema che vengono utilizzati dalle entità (macchine, inservienti, operatori, etc);
- *Variabili*: grandezze caratteristiche del sistema (stato di una macchina, lunghezza della coda, etc);
- *Code*: aree di attesa dove il movimento delle entità è momentaneamente sospeso.

7.3.1 L'ambiente Arena

Per modellare un processo in Arena si utilizzano le tre aree principali della finestra dell'applicazione che sono la Flowchart View, la Spreadsheet View e la Project Bar.

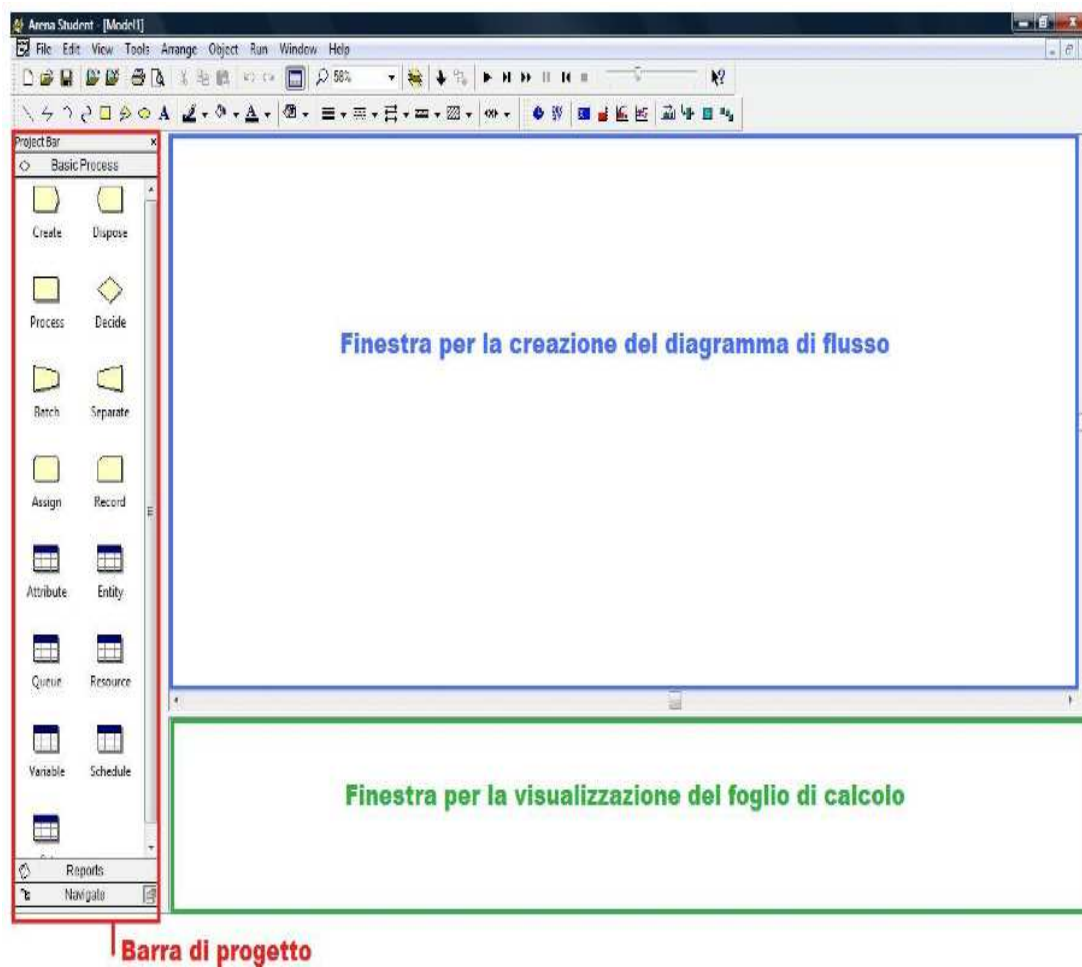


Figura 7.10 – Ambiente di lavoro in Arena

Nello specifico si ha:

- 1) Flowchart View: è l'area che contiene i blocchi necessari alla costruzione del modello;

- 2) Spreadsheet View: è l'area all'interno della quale sono presenti i dati relativi ai moduli utilizzati per realizzare il diagramma di flusso rappresentativo del sistema;
- 3) Project Bar: ospita i pannelli Basic, Reports e Navigate contenenti i principali oggetti con i quali si lavora.

7.3.2 Descrizione dei moduli

In Arena la modellazione avviene tramite i moduli, collegati tra loro in base a delle specifiche relazioni, che vanno a costituire il diagramma di flusso.

Nel Basic Panel sono presenti:

CREATE MODULE



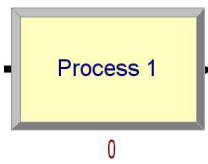
Questo modulo è inteso come punto di inizio o di creazione delle entità. Le entità sono create usando uno scheduling o attraverso un Time between- arrival. Le entità create lasciano il modulo pronte ad essere processate. In questo modulo si può attribuire il tipo di entità che si vuole fare entrare. Tipici esempi: Arrivo dei documenti, arrivo di clienti in un servizio (hotel, ristorante, ecc), arrivo delle materie prime.

DISPOSE MODULE



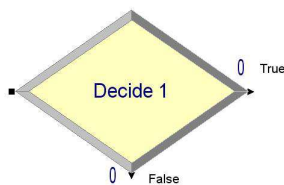
Questo modulo è inteso come punto di uscita delle entità che hanno attraversato il modello. Le statistiche delle entità sono registrate prima di uscire. Tipici esempi: I prodotti finiti che si immagazzinano o che vengono spediti, la dipartita da un servizio.

PROCESS MODULE



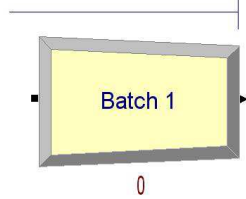
Questo è il modulo più importante nel tool di simulazione. Dentro di se ha le opzioni di *seize* e *release* della risorsa e del *delay time* della entità. Praticamente è come un ufficio dove le entità “cliente” entrano e se non c’è coda e la risorsa “impiegato” è libera allora viene occupata la risorsa (*seize*), viene processata (*delay*), ed infine se ne va liberando la risorsa (*release*). Una opzione particolare è il submodel dove se spuntata si può creare un sottomodello gerarchicamente inferiore. Tipici esempi: Servizio ad un cliente, Lavorazione di un prodotto, Controllo di un documento.

DECIDE MODULE



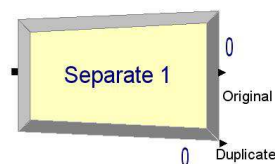
Questo blocco logico permette le decisioni sotto condizione o sotto probabilità. Un esempio di condizione può essere il tipo di entità (if entità type is XXXX) oppure si può decidere che si abbiano 2 uscite con assegnata una probabilità diversa (True 75%, False 25%). Altro esempio di decisione può essere in funzione delle code in processi successivi (NQ(Process1.Queue)). Nelle opzioni si può specificare quante uscite si vogliono e di che tipo. Two-way-chance, 2-waycondition, N-way-chance, N-way-condition. Tipici esempi: Invio di pezzi difettosi alla rilavorazione, controlli accettati vs controlli rifiutati, spedire determinati clienti in specifici processi.

BATCH MODULE



Questo modulo è stato progettato come un meccanismo di unione all'interno del modello di simulazione. Le entità possono essere unite temporaneamente o permanentemente. I batch temporanei prima di uscire dal modello devono essere separati attraverso un Separate Module. I batches (gruppi di entità uniti attraverso il batch) possono essere creati con qualunque numero di entità e possono essere fatti in base agli attributi. Le entità che arrivano al modulo sono messe temporaneamente in una coda fino a che non si soddisfa la condizione di unione. Appena raggiunta esce una sola entità. Tipici esempi: Collezionare n parti prima di montarle, unire un paziente con i propri documenti.

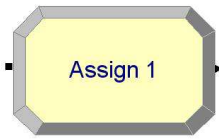
SEPARATE MODULE



Questo modulo può essere utilizzato sia per moltiplicare una entità in svariate oppure per separare un batch temporaneo. Si può anche specificare il costo ed il tempo da assegnare alle entità. Quando si ridivide un batch, l'entità temporanea formata si sparisce e si recuperano le entità precedenti. Le entità usciranno nella sequenza in cui erano entrati nel Batch Module. Quando si duplica una entità l'originale esce da una parte e da un'altra i duplicati. Tipici esempi: Separare un gruppo di documenti, Separare un documento con degli ordini in singoli ordini.



ASSIGN MODULE



Questo modulo è utilizzato per assegnare una variabile, un attributo, cambiare tipo di entità (entità type) o altre variabili di sistema. È possibile l'assegnazione multipla. Tipici esempi: Assegnare una priorità al cliente, cambiare il tipo di entità dopo essere stata assemblata.

RECORD MODULE



Questo modulo è usato per collezionare statistiche. Sono disponibili vari tipi di osservazioni statistiche, incluse il time-between-exit dal modulo, statistiche dell'entità (tempo, costi, ecc), osservazioni generali fino ad arrivare a dei contatori con etichette. Tipici esempi: Registrazione di pezzi/ora, contare il totale clienti, registrare il tempo di una entità in coda.

DATA MODULE

Questo modulo definisce i vari tipi di entità, la loro rappresentazione grafica iniziale nella simulazione corrente. Si possono definire anche il costo iniziale, il costo di stazionamento e altri costi specifici. Tipici esempi: Semilavorati, oggetti in arrivo, documenti, clienti che si muovono tra i vari processi.

QUEUE MODULE

Questo modulo assegna e modifica le regole delle code nei processi. La regola iniziale di base è la classica FIFO (First In First Out). C'è la possibilità di condividere la coda con più processi. Tipici esempi: Clienti in attesa di essere serviti, pallets in attesa di un trasporto.

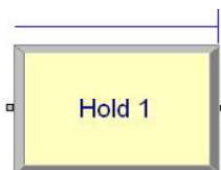


RESOURCE MODULE Questo modulo contiene tutte le risorse del sistema simulato, incluso i loro costi e la disponibilità. La capacità di una risorsa (un macchinario che fa 2 pezzi alla volta) può essere fissa o variare nel tempo attraverso una schedulazione. Gli stati e le rotture delle risorse sono definibili in questo modulo. Tipici esempi: Equipaggiamento (macchinari, linee telefoniche), persone (impiegati, operai, dottori)

SCHEDULE MODULE Questo modulo si usa assieme al Resource Module per definire lo scheduling della risorsa oppure si usa per definire gli arrivi assieme al Create Module. Tipici esempi: Orario di lavoro di persone, volume di arrivi di clienti, curva di apprendimento di operai.

SET MODULE Questo modulo dati definisce vari insiemi, incluso risorse, code, contatori, etichette, tipi di entità, e immagini di entità. L'insieme di risorse può essere utilizzato nei Process Module. Contatori ed etichette nei Record Module. Insieme di code nei Processi Avanzati (tra cui l'Hold Module, vedere più avanti). Tipici Esempi: Macchine che svolgono le stesse operazioni, insieme di immagini per un insieme di entità.

HOLD MODULE

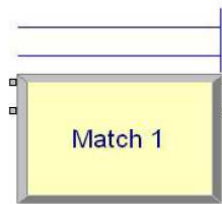


Questo modulo trattiene le entità in una coda in attesa o di un segnale (wait for signal) o di una condizione (scan for condition) o a tempo indefinito (saranno liberate da un Remove Module). Se una entità è



trattenuta tramite condizione essa rimarrà in questo modulo fino a che la condizione non diventi vera. Tipici Esempi: Semaforo che diventa verde, Attesa di un visto, Verifica dello stato di una risorsa o di un processo.

MATCH MODULE



Il Match Module allinea una quantità predefinita di entità su un massimo di 5 code differenti. A piacimento può essere scelto anche un attributo come metodo di scelta di matching. Quando una entità arriva al modulo è piazzata in una delle code che seguono gli entry point del blocchetto stesso. Soddisfatta la condizione di matching le entità partono allineate. Tipici Esempi: Assemblaggio di parti, raccolta di prodotti per un cliente.

READWRITE MODULE



Questo modulo è usato per leggere dati da un file esterno di input oppure da tastiera e assegnarli ad una variabile o ad un attributo (o altre espressioni). È anche utilizzato per scrivere a una device esterna, tipo file o schermo. Questo blocchetto è abbastanza flessibile come capacità di lettura/scrittura esterna. La logica di scrittura varia in funzione del tipo di file specificato. Il file può essere un file Lotus, Access, Excel, Testo, o ADO (ActiveX Data Objects sempre di Microsoft). Quando una entità arriva al modulo, controlla il file per vedere se una connessione tramite un provider o driver (ex OleDb, ODBC, ecc) è aperta, se non è così la stabilisce (tramite l'opzione



connection string). Attraverso un'altra opzione (Recorset ID) si indica al programma quale riga deve puntare. La prima entità “raccolgerà” il valore del primo record e lo assegnerà o ad un attributo o ad una variabile come definito in un'altra opzione del modulo (Assignments). A questo punto l'entità uscirà e la seconda entrata farà di nuovo l'Iter della prima ma con assegnato il secondo record. Tipici Esempi: Leggere informazioni su arrivi/partenze, input di configurazione modello.

STATION MODULE



Questo modulo definisce una locazione fisica o logica di processo. Può essere associata ad una stazione dove le entità passeranno nella parte animata del modello. Tipici Esempi: Qualunque fase di animazione tra un trasferimento e l'altro di entità

ROUTE MODULE



Il Route Module Trasferisce da una stazione all'altra le entità. Il trasferimento può essere associato ad una sequenza (*entity sequence*) (la sequenza è un attributo dove si indica l'elenco di stazioni) oppure è fissato attraverso una opzione del modulo (*destination type*). Il tempo di trasferimento è definito da un'altra opzione detta *route time*. Come nel modulo stazione anch'esso è associato all'animazione del modello. Tipici Esempi: Trasferimento di un cliente da un tavolo all'altro, prossima fermata di una metropolitana.



7.4 Ipotesi alla base dei modelli di simulazione

Per modellare e quindi simulare il sistema produttivo considerato sono stati impostati i seguenti dati e le seguenti ipotesi di base:

- Lo stabilimento è aperto tutta la giornata, in quanto la lavorazione si svolge su turni di 8 ore ciascuno;
- Le dimensioni dello stabilimento sono:
 - × 122 m di lunghezza;
 - × 9 m di altezza;
 - × 20 m di ampiezza;
- In ciascun turno lavorativo c'è lo stesso numero di lavoratori per ogni zona;
- Il tempo di ogni simulazione è della durata di 24 ore. In quest'intervallo è stato ipotizzato che si possa sviluppare un incendio in qualsiasi momento;
- Il tempo statico massimo necessario per evacuare in sicurezza è quello determinato nell'analisi preliminare ed è pari a 360 s;
- Il numero di "entità" all'interno del modello varia a seconda dello scenario considerato;
- Il numero iniziale di persone presenti nell'edificio è pari a:
 - × 6 addetti alle emergenze;
 - × 24 lavoratori;
 - × 6 lavoratori con handicap;
 - × 24 visitatori;
- Le entità entrano nel sistema nello stesso istante temporale, corrispondente all'inizio del turno lavorativo;
- Tutti i tipi di lavoratori (addetti alle emergenze, lavoratori con e senza handicap) sono stati formati e istruiti in materia di sicurezza almeno



una volta e dunque conoscono la disposizione delle uscite di emergenza e hanno familiarità con i luoghi di lavoro;

- Durante la giornata lavorativa sono presenti anche eventuali visitatori, che però non sono formati in materia di sicurezza antincendio relativamente alla struttura considerata e non conoscono i luoghi di lavoro;
- Non sono stati considerati visitatori con handicap;
- Il comportamento degli addetti alle emergenze è di tipo “cauto”, essendo stati scelti e formati per gestire le emergenze;
- C’è sempre almeno un addetto alle emergenze in ogni zona;
- Ogni addetto alle emergenze riesce a gestire e coordinare un massimo di 40 unità tra lavoratori e visitatori;
- La porta di ingresso nello stabilimento è la 1 per tutte le entità;
- Il numero di estintori e naspi è sufficiente a spegnere localmente l’incendio lungo i percorsi di esodo;
- I moduli di uscita delle porte di emergenza hanno una capacità di deflusso massima di 50 persone/modulo;
- Ogni porta di emergenza è costituita da 2 moduli per un’ampiezza complessiva di 1,20 m;
- Tutte le entità sentono il segnale di scoppio incendio e reagiscono in qualche modo ad esso;
- È presente la cartellonistica di sicurezza, con segnalazione del percorso più breve;
- Eventuali mezzi di segnalazione luminosi/sonori per guasti o inagibilità alle uscite di emergenza sono assenti nella prima configurazione di modello, mentre sono presenti nella seconda configurazione;
- È stato suddiviso lo stabilimento in un totale di 6 zone contrassegnate da un colore differente (più il percorso che conduce alla porta di



ingresso), che indicano ciascuna un percorso diverso di esodo che conduce alla porta più vicina;

- La zona rossa è quella maggiormente attrattiva, dato il tipo di lavorazione che in essa si svolge;
- Ogni percorso di esodo ha una porta d'uscita ad esso più vicina, precisamente:
 - ⇒ Zona Gialla – porta 7;
 - ⇒ Zona Blue – porta 6;
 - ⇒ Zona Rossa – porta 5;
 - ⇒ Zona Arancione – porta 3;
 - ⇒ Zona Verde – porta 2;
 - ⇒ Zona Rosa (Magazzino) – porta 4.
- Il tempo di rivelazione dell'incendio è pari a 88 s;
- Il tempo medio impiegato per raggiungere la porta più vicina è pari a 180 s;
- La velocità media di percorrenza delle persone è pari a 0,5 m/s, ad eccezione di quella dei lavoratori con handicap assunta pari a 0,3 m/s;
- La velocità media si riduce col passare del tempo a causa dell'aumento di fumi e della riduzione di visibilità ed essa in media comporta un aumento nei tempi di 45 s;
- Se l'affollamento massimo presso una porta viene superato, la velocità media di percorrenza subirà una riduzione da 0,5 a 0,4 m/s;
- I tempi di attesa e di trasferimento sono distribuiti come una normale di media e varianza note e fissate sulla base dei valori di letteratura;
- Il comportamento di tipo disordinato causerà un rallentamento delle persone pari in media a 120 s, a causa dell'urto contro ostacoli, delle collisioni tra gli individui e dei movimenti caotici delle persone;
- Il comportamento di tipo freezing causerà un rallentamento delle persone pari in media a 90 s;



- Il comportamento di tipo apatico causerà un rallentamento delle persone pari in media a 60 s;
- Se un'entità decide di tornare indietro ed uscire dalla porta iniziale e non da quella più vicina, impiegherà in media 90 s in più rispetto al tempo impiegato per percorrere il percorso più breve;
- Quando nel sistema si instaurano i comportamenti gregari, le entità seguiranno gli addetti alle emergenze, che sono formati in materia di sicurezza e dunque organizzeranno la fuga in un tempo medio di pre-evacuazione pari a 60 s.

7.5 Prima configurazione di modello

La prima configurazione di modello prevede che tra gli Occupants (ossia tutti i soggetti presenti nella struttura) non vi sia comunicazione né cooperazione durante l'evacuazione dall'edificio; dunque ogni entità ha un comportamento individualistico ed isolato (ad eccezione degli addetti alle emergenze, il cui compito è quello di aiutare qualsiasi persona ad uscire dalla struttura).

Inoltre nell'edificio è presente la cartellonistica di emergenza indicante i percorsi di esodo, ma non è presente nessun sistema di segnalazione visiva/sonora che possa avvisare gli evacuanti circa l'esistenza di porte rese guaste o inagibili dall'incendio e instradarli verso un percorso agibile alternativo.

In Figura 7.11 è riportata la vista generale del primo modello costruito; ciascuna parte sarà poi approfondita nei paragrafi seguenti.



Capitolo VII – Case study: implementazione di un modello simulativo per la determinazione di piani di evacuazione dinamici

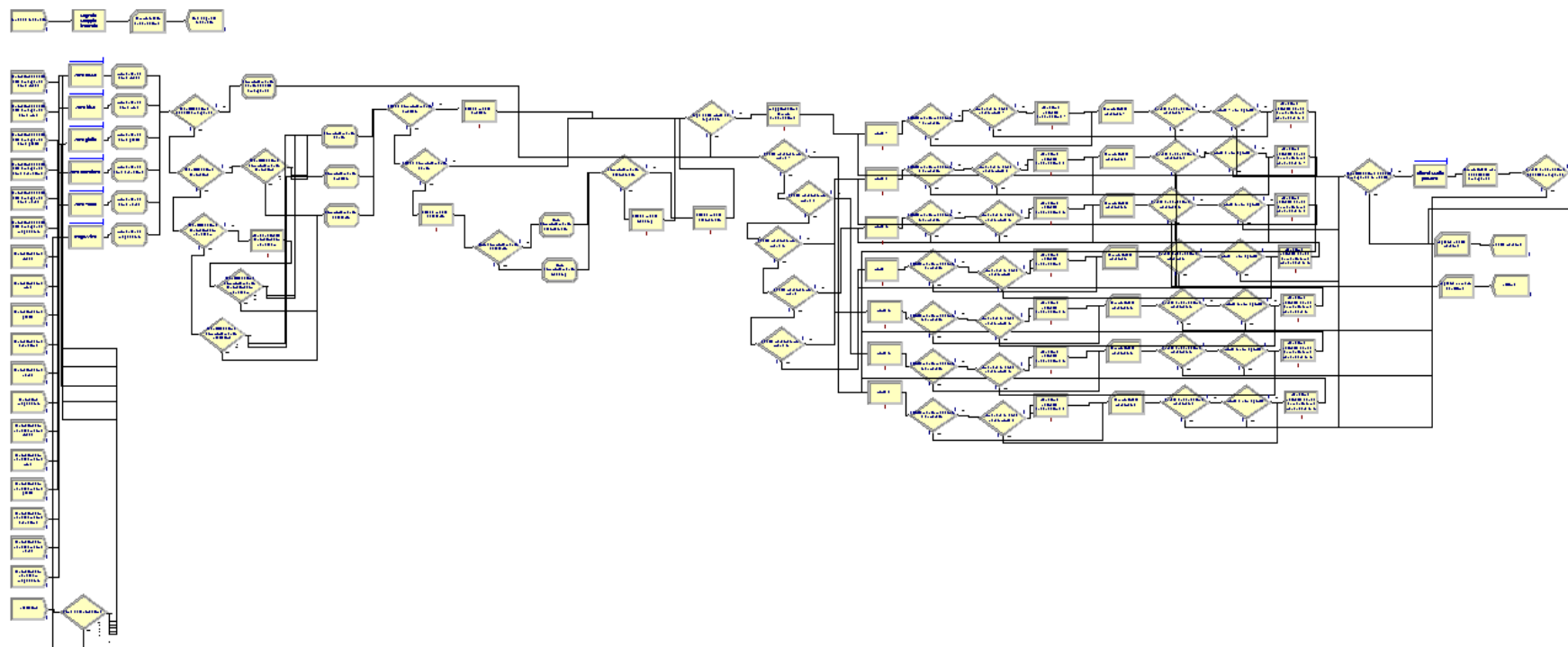


Figura 7. 11 – Vista generale del primo modello in Arena

7.5.1 Creazione delle Entità

Il primo passo effettuato nello sviluppo del modello è stato la creazione delle entità per ciascuna delle 6 zone dell'area di lavoro, mediante dei moduli Create.

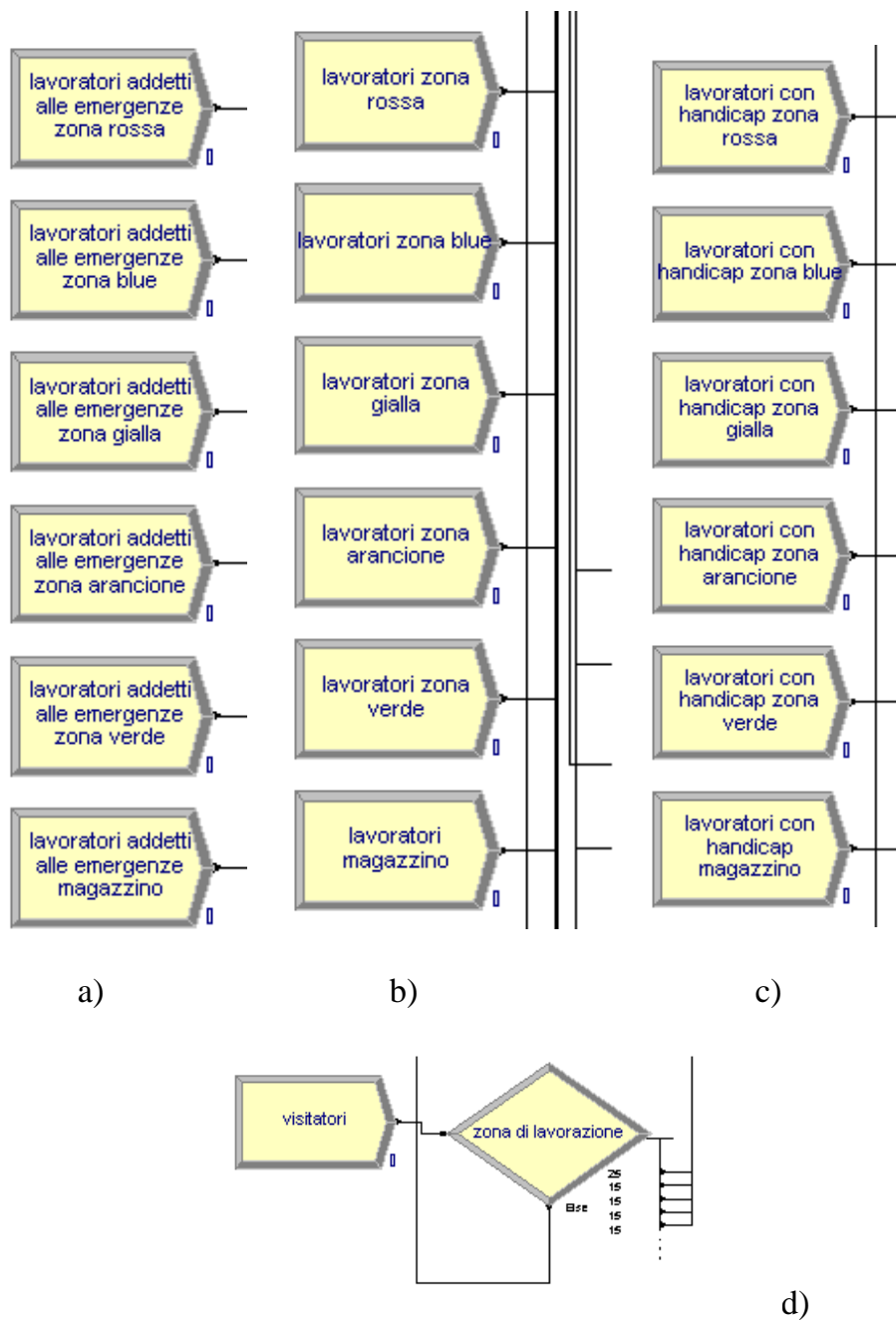


Figura 7.12 – Moduli Create per le varie entità: a) Lavoratori addetti alle emergenze; b) Lavoratori; c) Lavoratori con handicap; d) visitatori

Le entità create sono: *Lavoratore addetto alle Emergenze*, *Lavoratore*, *Lavoratore con handicap* e *Visitatore*.

In particolare, come si può notare dalla Figura 7.12, si ha che mentre tutti i lavoratori sono suddivisi già in partenza nelle diverse zone di lavorazione, i visitatori vengono assegnati alle varie aree in base alla loro attrattività tramite un modulo Decide denominato “Zona di Lavorazione”.

Un ulteriore Create è stato poi utilizzato per l’entità incendio. Nello specifico, appena si ha lo scoppio dell’incendio, viene lanciato il segnale di allarme, che viene udito da tutte le persone presenti nel sistema e dà inizio alla fuga; in questa fase il sistema registra il tempo di inizio evacuazione per tutte le entità.

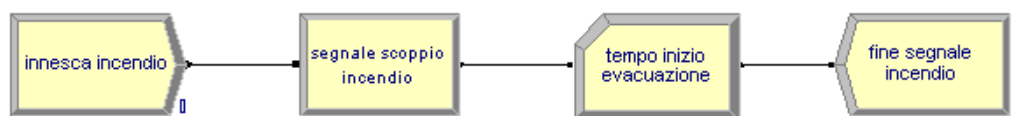


Figura 7. 13 – Caratterizzazione dell’entità Incendio

7.5.2 La fase precedente all’innesco dell’incendio

Le entità create precedentemente (ad eccezione di quella incendio, che serve solo come segnale di inizio evacuazione) vengono trattenute nelle varie zone di lavorazione tramite dei moduli Hold fino a che non scatterà il segnale di incendio. Quando quest’ultimo raggiunge un certo valore assegnato, vengono sbloccate e ad esse viene associato un attributo tramite un modulo Assign per poter distinguere la zona di provenienza di ciascuna entità.

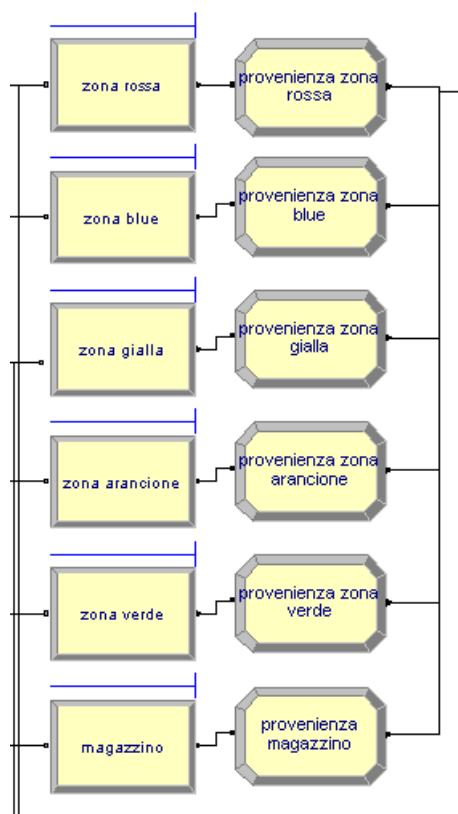


Figura 7. 14 – Moduli Hold ed Assign relativi alle zone di provenienza

7.5.3 Assegnazione dei fattori comportamentali

Appena le entità prendono coscienza dello scoppio dell'incendio, inizia la diversificazione di esse in base al tipo di comportamento adottato da ciascuna. Innanzitutto, un modulo Decide identifica le entità appena liberate dai moduli Hold. Se l'entità è del tipo "lavoratore addetto alle emergenze", viene associata ad essa un attributo "comportamento cauto", in quanto per ipotesi tale tipologia di lavoratore risulta appositamente formata sulle emergenze e dunque ottimizzerà il proprio tempo e le proprie scelte per far sì che tutte le persone escano vive dal sistema.

Se invece l'entità non è un addetto alle emergenze, un ulteriore Decide identificherà se si tratta o meno di un lavoratore, di un lavoratore con handicap o di un visitatore. Se in particolare l'entità è “lavoratore con handicap”, viene inserito un rallentamento della velocità di fuga tramite un apposito modulo Wait, per indicare la maggiore difficoltà posseduta da queste entità nel fuggire dallo stabilimento. Subito dopo questa distinzione inizia l'attribuzione del fattore comportamentale alle tre tipologie di entità, sempre tramite un modulo Decide denominato “Identificazione Comportamento”. Quest'ultimo, leggendo il tipo di entità in arrivo (lavoratore con/senza handicap o visitatore), assegnerà con percentuali diverse il tipo di comportamento posseduto.

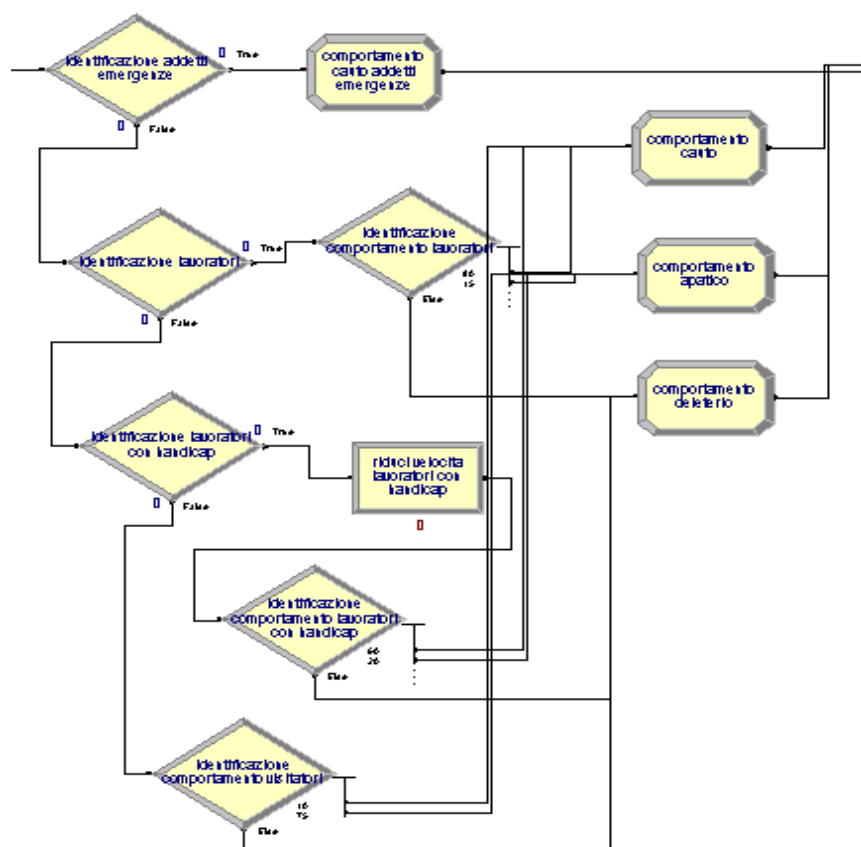


Figura 7. 15 – Assegnazione dei fattori comportamentali

Con riferimento agli studi di Leach riportati nel Capitolo 4, sono state considerate tre categorie di comportamento: cauto, apatico e deleterio. Ovviamente i visitatori avranno maggiore tendenza ad assumere comportamenti di tipo deleterio o apatico rispetto ai lavoratori che, essendo per ipotesi istruiti in materia di sicurezza e conoscendo la struttura, sapranno come comportarsi e riusciranno a mantenere la calma con percentuali sicuramente superiori.

L'assegnazione di specifici comportamenti causa maggiore o minore velocità nel prendere decisioni inerenti l'evacuazione. Tale processo decisionale è stato ottenuto tramite dei moduli Wait che rilasciano le entità verso i percorsi di fuga solo dopo un determinato lasso di tempo settato sulla base di valori ottenuti dalla letteratura scientifica.

Un'ulteriore suddivisione è stata considerata per il comportamento di tipo deleterio, cui appartengono i comportamenti disordinati e di freezing; questi aggiungono un'ulteriore aliquota di rallentamento alle persone, rappresentata ancora una volta attraverso un modulo Wait.

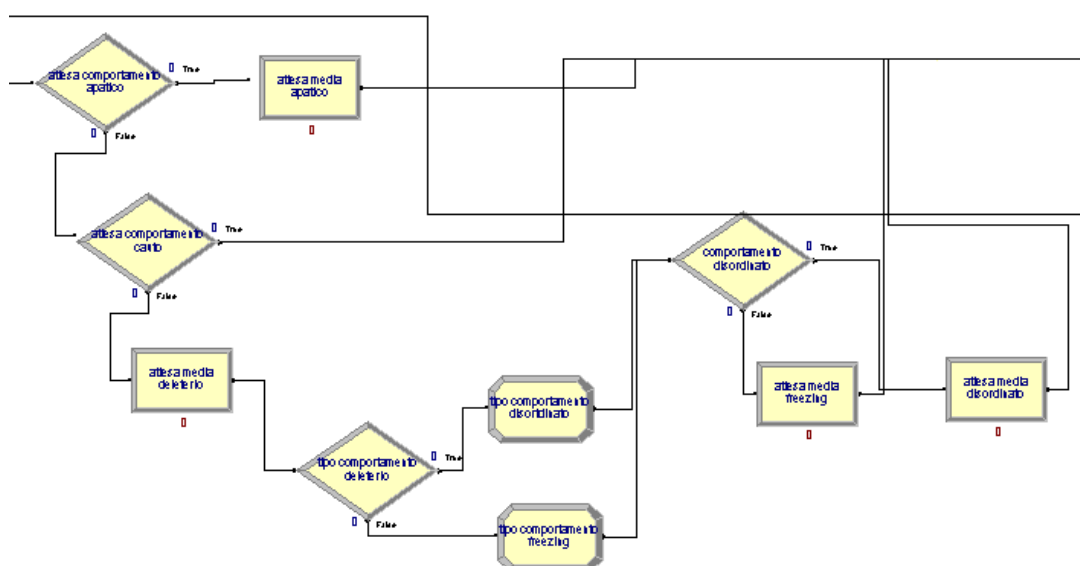


Figura 7. 16 – Attesa e Rilascio delle entità in base al comportamento

7.5.4 La scelta dei percorsi di Esodo

Gli occupanti si dirigono, a questo punto, verso le vie di esodo. Sono possibili due diversi tipi di comportamento: una parte delle entità scapperà dalla porta di ingresso, percorrendo a ritroso il cammino fatto in precedenza e quindi già conosciuto, un'altra parte seguirà le indicazioni di emergenza e sceglierà il percorso minimo associato alla zona in cui si trova. Anche in questo caso le percentuali di assegnazione sono state desunte dagli studi della letteratura scientifica.

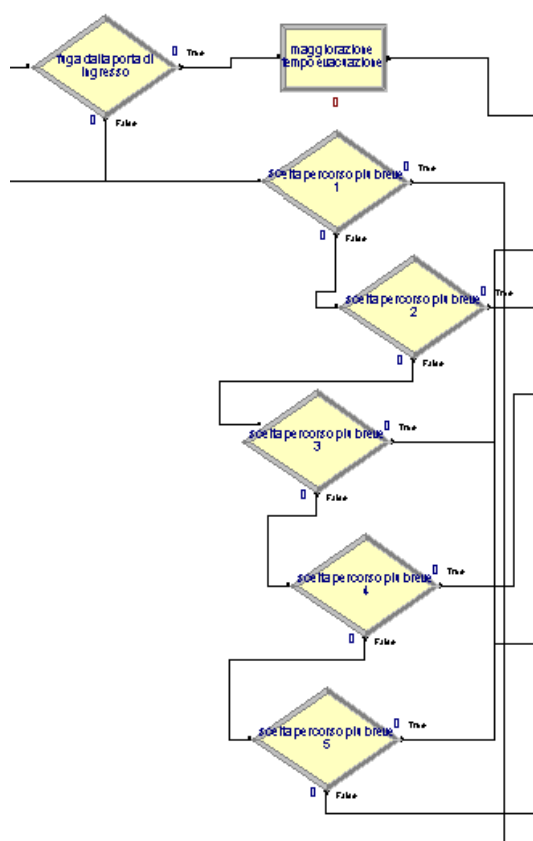


Figura 7. 17 – Scelta del percorso di fuga

I percorsi di esodo e quindi le uscite di emergenza sono stati simulati come dei Process che trattengono le entità per un certo periodo (pari al tempo di percorrenza del tratto, calcolato nello studio preliminare). Arrivati in prossimità dell'uscita di emergenza, le entità possono scegliere se uscire o



meno attraverso quella porta in funzione del grado di congestione della medesima. In particolare, se l'affollamento presso tali porte dovesse superare un certo valore di deflusso stabilito in base a riferimenti normativi, allora le entità potranno scegliere se rimanere in coda (e in tal caso subiranno un ulteriore ritardo, dovuto al rallentamento delle persone nell'uscire da quella porta) oppure se dirigersi verso l'uscita visibile più vicina (se anch'essa non è congestionata o inagibile, e in tal caso ci sarà un aumento del tempo di percorrenza relativo all'ulteriore tratto da percorrere e ad una eventuale riduzione di velocità causata dall'aumento dei fumi nel tempo).

Se invece non c'è affollamento nei pressi di quella specifica uscita, l'entità si dirigerà verso la porta inizialmente scelta per l'evacuazione. A questo punto un modulo Record registra il tempo totale trascorso dall'ingresso delle entità fino a questo punto, dopodiché un modulo Decide interroga il sistema sulla durata effettiva dell'evacuazione: se il tempo impiegato dalle entità per arrivare alla porta di emergenza è superiore al tempo massimo per uscire vivi dal sistema, calcolato nello studio preliminare, le entità usciranno dal sistema come morte; se è inferiore, raggiungeranno quella porta. A questo punto il modello prevede la possibilità che la porta sia inagibile; non essendoci in questa prima configurazione sistemi visivi e/o luminosi per avvisare sulla presenza di porte non agibili, le entità potranno accorgersi dell'impossibilità di uscire attraverso quella porta soltanto a questo punto e dovranno intraprendere un percorso alternativo, dirigendosi verso la porta più vicina e subendo un ulteriore ritardo dovuto a questo cambiamento di rotta e alla riduzione di velocità causata dall'aumento inevitabile dei fumi dell'incendio. Se invece la porta è agibile, le entità usciranno vive dallo stabilimento. Tutte le entità vagheranno nel sistema alla ricerca di una porta agibile fino a quando non la troveranno o fino a che non risulteranno morte.

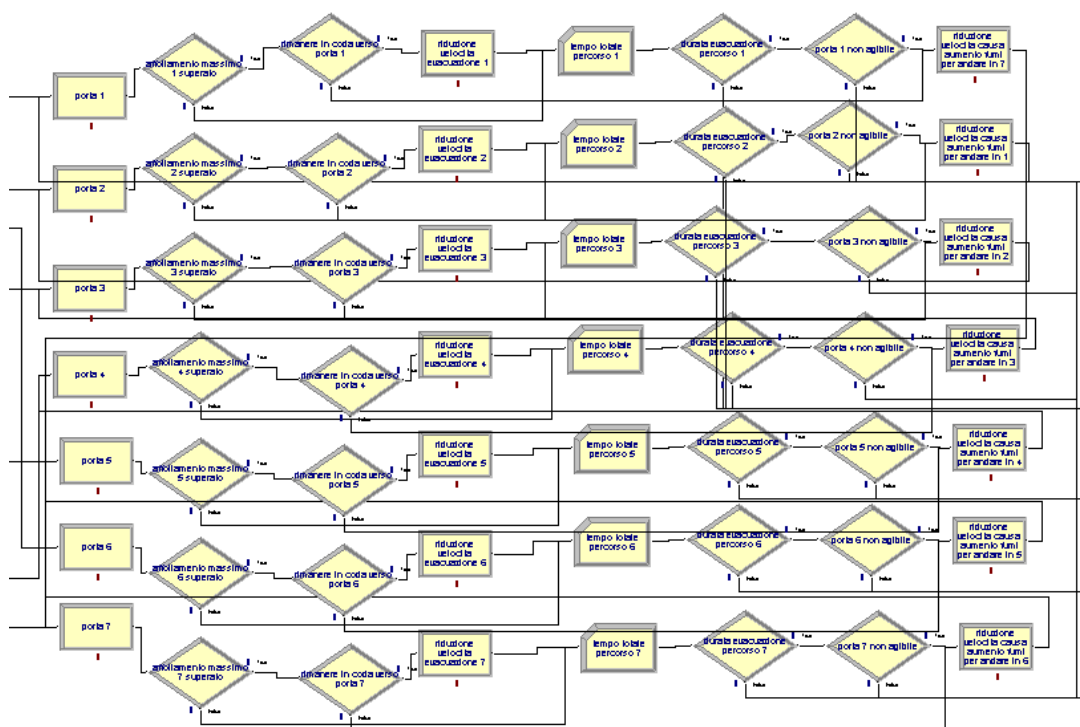


Figura 7. 18 – I Percorsi di Esodo e le Porte di Emergenza

A questo punto il modello discrimina tra le entità quelle rappresentanti gli addetti alle emergenze, che dovranno attendere nel sistema l'uscita di tutte le persone.

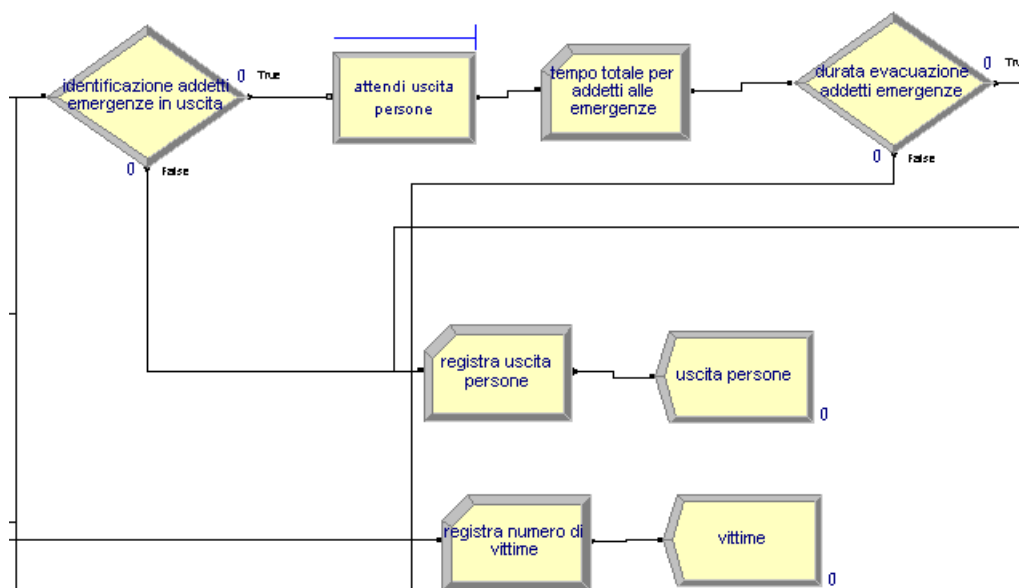


Figura 7. 19 – Moduli Record e Decide per gli Addetti alle Emergenze e l'uscita delle entità



Un modulo Hold trattiene gli addetti alle emergenze fino alla completa evacuazione delle entità, rappresentando in tal modo l'aiuto che questi portano alle persone durante la fuga; al loro rilascio tali entità usciranno dal sistema vive o morte a seconda del tempo trascorso.

I moduli Dispose infine registreranno il numero di vittime e di persone vive uscite dal sistema.

7.6 Seconda configurazione di modello

La seconda configurazione di modello prevede che tra gli Occupants vi sia comunicazione e cooperazione durante l'evacuazione dall'edificio; dunque le entità assumeranno comportamenti gregari, unificando il tipo di comportamento.

Inoltre nell'edificio è presente la cartellonistica di emergenza indicante i percorsi di esodo, ed è altresì presente un sistema di segnalazione visiva/sonora che avvisa gli evacuanti circa l'esistenza di porte rese guaste o inagibili dall'incendio e li instrada verso un percorso agibile alternativo.

In Figura 7.20 è riportata la vista generale del secondo modello costruito; nei paragrafi seguenti verranno poi spiegate le parti modificate rispetto alla prima configurazione.



Capitolo VII – *Case study: implementazione di un modello
simulativo per la determinazione di piani di evacuazione dinamici*

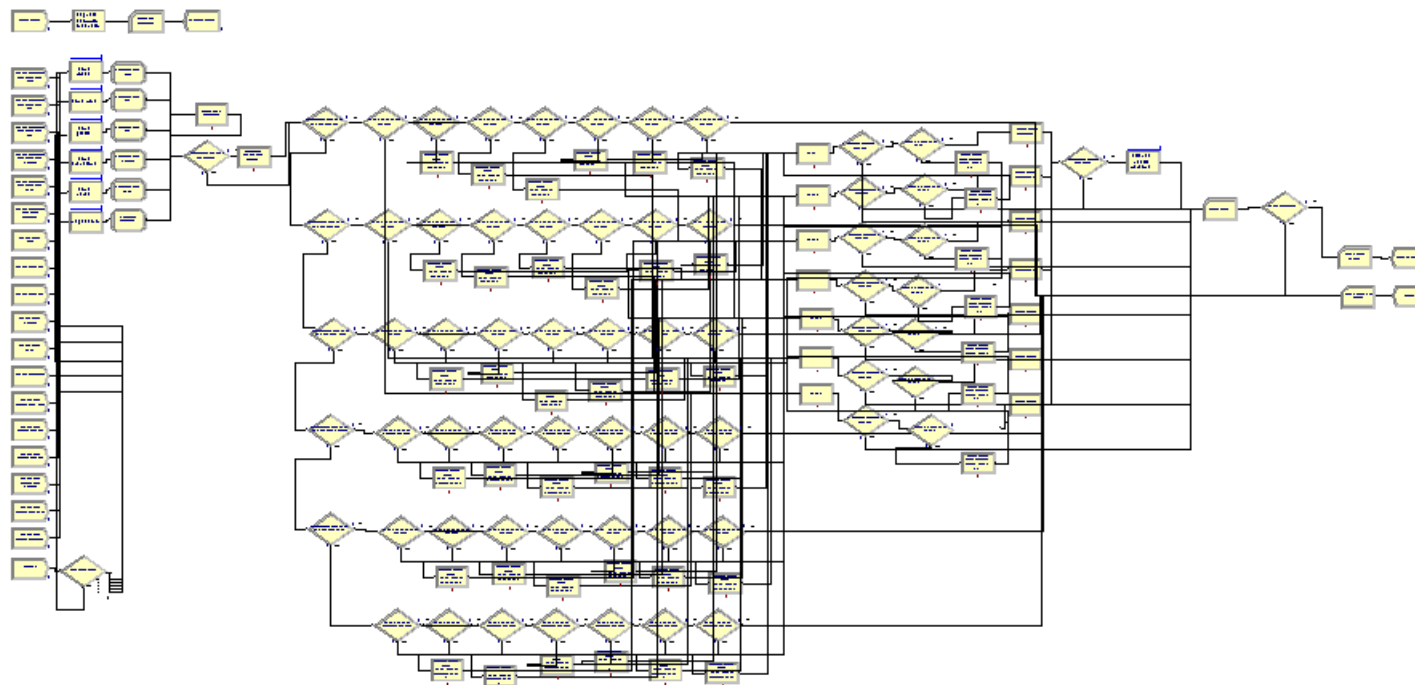


Figura 7. 20 – Vista generale del secondo modello in Arena

7.6.1 Identificazione dei comportamenti gregari

La seconda configurazione di modello rimane invariata rispetto alla prima, dalla creazione delle entità fino all'innescio dell'incendio. Dopodiché, appena gli Occupants odono il segnale, iniziano a reagire ad esso. Dal momento che le entità assumeranno comportamenti gregari di cooperazione, vi sarà un unico modulo Wait, denominato “tempo di pre-evacuazione”, che indica il tempo perso inizialmente per valutare il da farsi; solo i lavoratori con handicap avranno poi un ulteriore ritardo dovuto alla loro velocità ridotta di movimento.

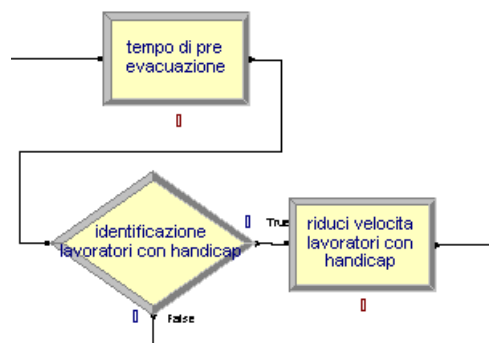


Figura 7. 21 – *Tempo di pre-evacuazione nei comportamenti gregari*

7.6.2 Indirizzamento verso l'uscita agibile più vicina

Qualora l'incendio causasse l'inagibilità di una o più porte, un segnale sonoro avviserà le entità e le instraderà, grazie anche ad un percorso luminoso posizionato sul soffitto (così da non essere oscurato dai fumi dell'incendio), verso il percorso di esodo agibile più vicino; ovviamente, se la porta più vicina è agibile, il tempo medio di percorrenza assegnato sarà quello standard calcolato nello studio preliminare; se invece è un'altra porta, ci sarà una

maggiorazione del tempo impiegato per raggiungere la porta, che sarà crescente al crescere della distanza dell'uscita dalla zona in cui si trovano le entità.

La figura 7.22 riporta l'indirizzamento relativo al percorso della zona gialla; un ragionamento analogo è stato fatto per tutti gli altri percorsi.

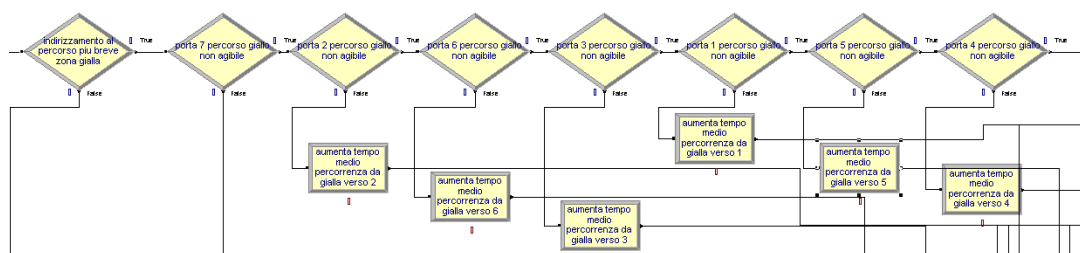


Figura 7. 22 – Indirizzamento verso i percorsi agibili

7.6.3 I Percorsi di esodo

A questo punto le entità entrano nei moduli Process che indicano i percorsi che conducono all'uscita più vicina; arrivati in prossimità della porta, se l'affollamento massimo è stato superato, possono decidere se rimanere in coda presso quella porta (subendo un rallentamento dovuto alla congestione) o se conviene dirigersi verso la porta visibile più vicina (se non è sovraffollata o inagibile, subendo una dilatazione del tempo dovuto all'allungamento del percorso e all'eventuale aumento dei fumi causati dall'incendio).

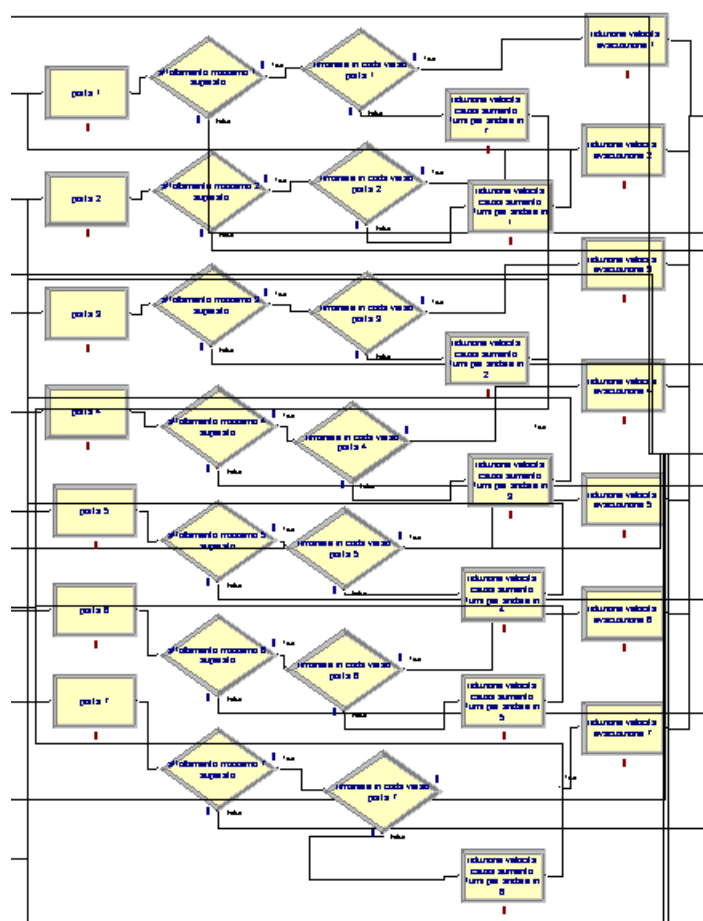


Figura 7. 23 – I percorsi di esodo

7.6.4 Gli addetti alle emergenze e l'uscita dal sistema

Una volta arrivate alle porte, le entità rappresentanti gli addetti alle emergenze vengono separate dalle altre e vengono trattenute in un modulo Hold fino a che tutte le altre entità non saranno uscite dal sistema (per indicare l'aiuto portato alle altre persone e il fatto che essi devono uscire per ultimi dallo stabilimento), mentre le altre entità (e poi quelle degli addetti alle emergenze), come nel primo modello, usciranno dal sistema vive o come vittime a seconda del tempo impiegato per evacuare.

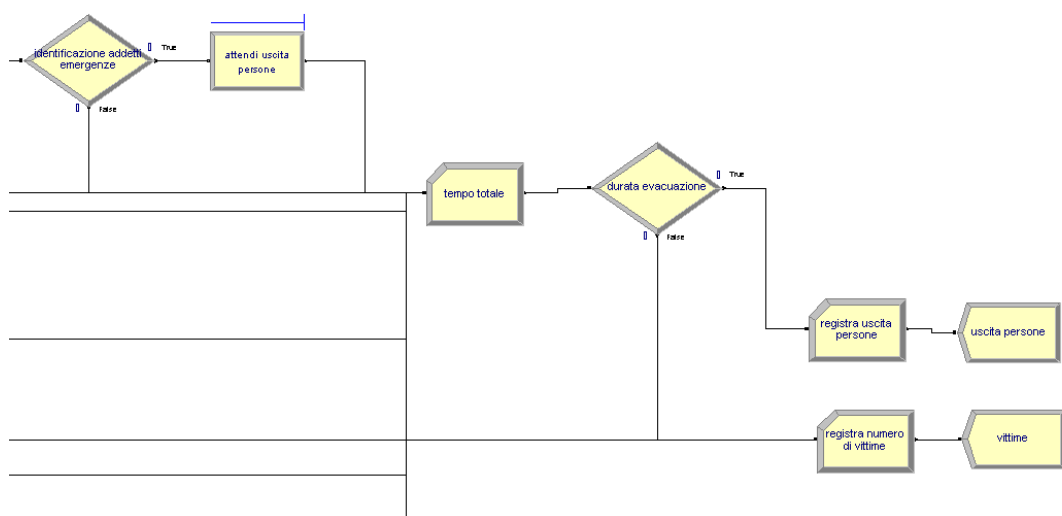


Figura 7. 24 – Addetti alle emergenze ed uscita dal sistema

Infine, due moduli Record registreranno il numero di vittime e di sopravvissuti che usciranno dal sistema grazie a due moduli Dispose.

7.7 Verifica e validazione del modello

Una volta tradotto il modello logico di partenza nel modello di simulazione ci si domanda se il modello si comporta correttamente, con lo scopo di verificare l'assenza di errori logici e sintattici nel modello; bisogna in pratica accertare che il modello si comporti nel modo previsto. In tal senso l'animazione rappresenta uno strumento di supporto molto utile per questa fase.

Sono state dunque lanciate numerose simulazioni delle due configurazioni di modello, le quali hanno fornito risultati coerenti con quanto ci si aspettava sulla base degli studi presenti nella letteratura scientifica.



Ciò ha consentito di passare alla fase di validazione del modello.

In questa fase la domanda è: Il modello può “sostituire” il sistema reale? La validazione è praticamente la fase in cui si definisce se il sistema simulato è “sovrapponibile” con la realtà. In generale per validarlo si usano dati storici del sistema e si vede se gli output sono equivalenti ai risultati passati. La scelta di quali e quanti parametri usare per la validazione del modello non è cosa semplice, la letteratura consiglia pochi parametri, ma significativi. Il modello potrà ritenersi validato quando i risultati da esso ottenuti si discostano da quelli reali di una quantità inferiore al margine di errore ritenuto accettabile per quel particolare tipo di sistema.

Nel caso in esame i parametri significativi sono i fenomeni di aggregazione tra gli individui, le percentuali relative ai diversi comportamenti umani durante l’evacuazione, il grado di formazione degli Occupants e dei leaders che guideranno l’evacuazione, la presenza o meno di sistemi di segnalazione delle porte inagibili, e, conseguentemente, gli output di maggiore interesse sono il numero di vittime nel sistema e il fattore di sicurezza (tempo di evacuazione effettivo/tempo massimo consentito per la sopravvivenza).

I dati relativi a questi parametri sono stati desunti dalla letteratura scientifica, comprendendo anche dati storici di aziende, questionari erogati agli individui e videoriprese di esercitazioni d’emergenza.

Per tale motivo i risultati conseguiti dalle simulazioni sono ritenuti significativi e rappresentativi della realtà considerata.

7.8 Analisi di scenario

Questa fase è anche detta *progetto ad esperimenti*, ed in essa vanno stabiliti la durata ed il numero di iterazioni da eseguire per ogni esperimento, nonché la modalità con cui effettuare le misure in ogni iterazione ed i criteri di



valutazione dei risultati ottenuti ad ogni esperimento. Per ogni scenario che deve essere simulato si devono, quindi, prendere in considerazione: lunghezza dei Run, il numero di replicazioni ed infine il modo di inizializzare il sistema se è richiesto.

Nello specifico, sono stati considerati 4 differenti scenari:

- ⇒ Scenario 1 – Considera la prima configurazione di modello, in cui non vi è comunicazione né cooperazione tra gli individui, non vi sono segnali luminosi/sonori che indichino eventuali porte inagibili e non ci sono porte o percorsi resi inagibili dall'incendio;
- ⇒ Scenario 2 – Considera la prima configurazione di modello, in cui non vi è comunicazione né cooperazione tra gli individui, non vi sono segnali luminosi/sonori che indichino eventuali porte inagibili e ci sono porte e percorsi resi inagibili dall'incendio;
- ⇒ Scenario 3 – Considera la seconda configurazione di modello, in cui vi è comunicazione e cooperazione tra gli individui, vi sono segnali luminosi/sonori che indicano eventuali porte inagibili e non ci sono porte e percorsi resi inagibili dall'incendio;
- ⇒ Scenario 4 – Considera la seconda configurazione di modello, in cui vi è comunicazione e cooperazione tra gli individui, vi sono segnali luminosi/sonori che indicano eventuali porte inagibili e ci sono porte e percorsi resi inagibili dall'incendio.

Per ciascuno scenario sono stati lanciati diversi run di simulazione, facendo variare il numero di persone presenti nella struttura, da un minimo di 60 persone complessive ad un massimo di 600 (capienza massima della struttura in funzione del numero di porte di emergenza e dell'ampiezza di ogni porta pari a due moduli di 60 cm ciascuno).



Per i lavoratori addetti alle emergenze, poiché la normativa non ne specifica il numero minimo da garantire nella struttura, sono state fatte considerazioni sulla tipologia di lavorazione e sui profili di rischio ed è stato ritenuto opportuno prevedere che vi sia un addetto in ogni zona e che ciascuno gestisca un numero complessivo di persone che sia al massimo pari a 40 unità (comprensive dei visitatori).

Nella Tabella 7.3 sono riportati i dati relativi al numero di Occupants considerati nei vari run di simulazione.

Tabella 7.3 – Numero di Occupants nei run di simulazione

Numero Run	Addetti alle emergenze	Lavoratori	Lavoratori con Handicap	Visitatori	Numero totale
I	6	24	6	24	60
II	6	48	12	54	120
III	6	72	18	84	180
IV	6	96	24	114	240
V	12	120	30	138	300
VI	12	144	36	168	360
VII	12	168	42	198	420
VIII	12	192	48	228	480
IX	18	216	54	252	540
X	18	240	60	282	600

Le simulazioni hanno restituito valori congruenti con quanto ci si aspettava in base agli studi della letteratura scientifica.

7.8.1 Scenario 1

In questo scenario è stata considerata la prima configurazione di modello, in cui non vi è comunicazione né cooperazione tra gli individui, non vi sono segnali luminosi/sonori che indichino eventuali porte inagibili e non ci sono porte o percorsi resi inagibili dall'incendio (vi è piena disponibilità di tutte le porte e di tutti i percorsi di esodo).

Lanciando le simulazioni - settando i parametri del sistema con i dati desunti dalla letteratura e da interviste/questionari - è stato osservato che la mancanza di comunicazione e i diversi comportamenti assunti dagli Occupants comportano un tempo di attraversamento totale maggiore di quello teorico calcolato nello studio preliminare; dunque, anche in assenza di porte o percorsi inagibili, ci saranno sempre delle vittime per il caso in esame e, ovviamente, questo numero aumenta all'aumentare del numero di persone inizialmente presenti nella struttura (Figura 7.25), in quanto le porte risulteranno sempre più affollate e si dovrà far ricorso a percorsi alternativi.

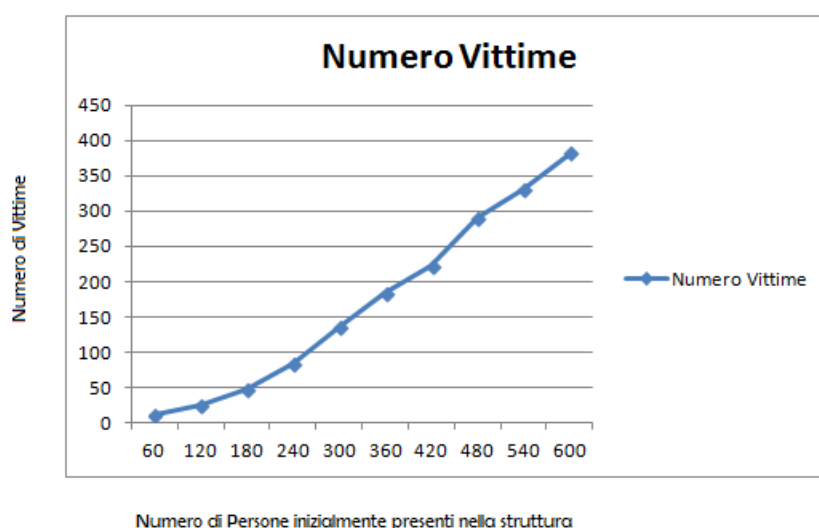


Figura 7. 25 – Numero di Vittime per lo Scenario 1

Analizzando il grafico di figura 7.26 si ha che anche il numero di persone sopravvissute aumenta all'aumentare del numero di persone inizialmente presenti nell'edificio; questo è ovviamente dovuto all'aumento significativo della variabile in ascissa per ciascun run; ma, analizzando le percentuali (Figure 7.27 e 7.28), si ritrova quanto detto e cioè che la percentuale di



vittime aumenta con l'aumentare delle persone inizialmente presenti nell'edificio e il viceversa si ha per il numero di persone uscite vive.

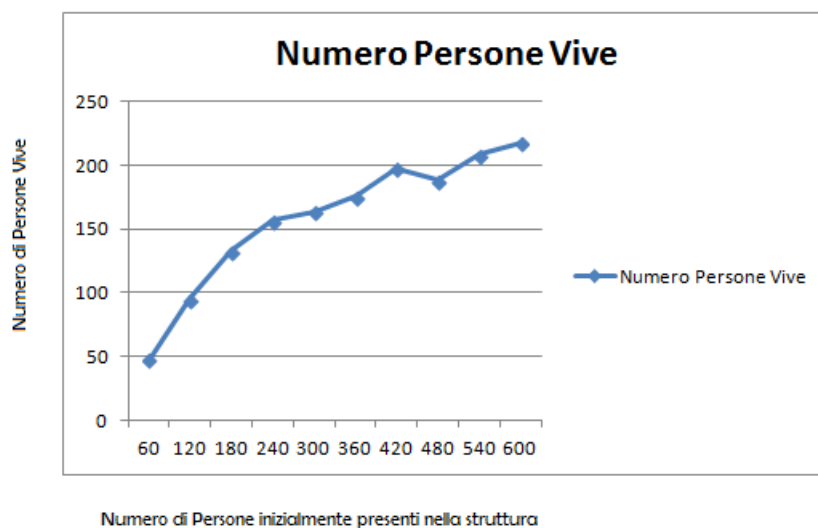


Figura 7. 26 – Numero di Sopravvissuti per lo Scenario 1

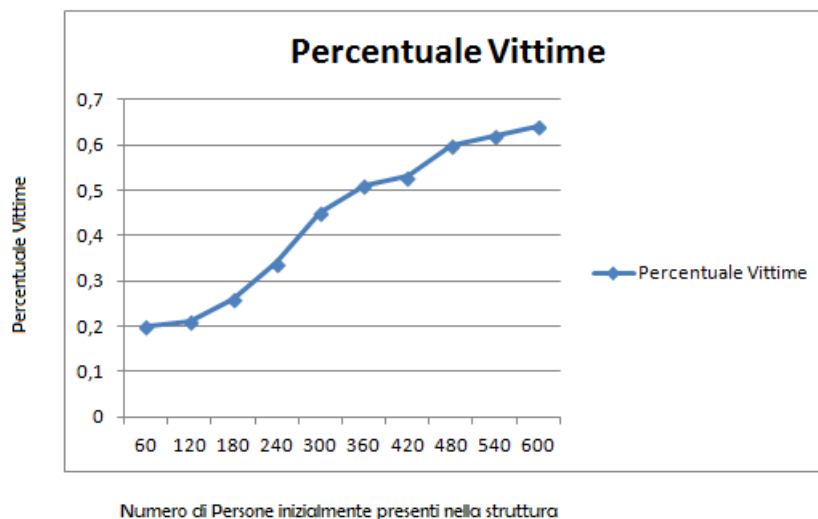


Figura 7. 27 – Percentuale di Vittime per lo Scenario 1

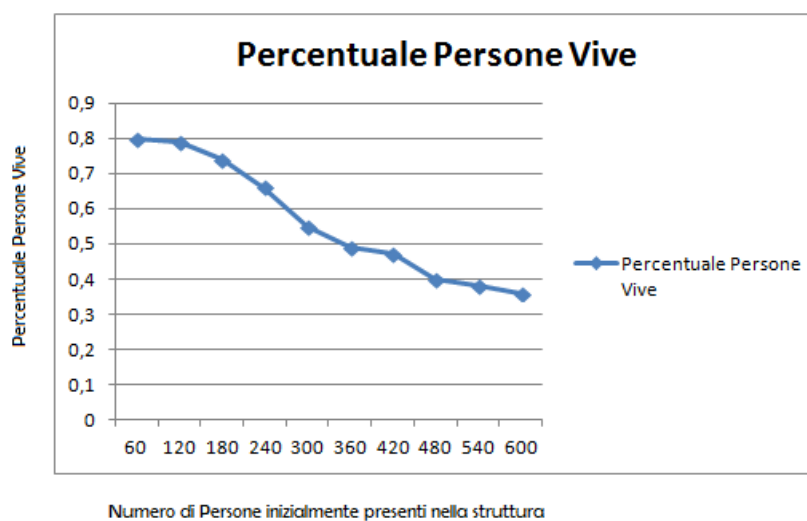


Figura 7. 28 – Percentuale di Sopravvissuti per lo Scenario 1

7.8.2 Scenario 2

In questo scenario la configurazione di modello considerata è ancora la prima, in cui non vi è comunicazione né cooperazione tra gli individui, non vi sono segnali luminosi/sonori che indichino eventuali porte inagibili, ma in questo caso ci sono porte e percorsi resi inagibili dall'incendio (pari quasi al 50 % delle uscite totali presenti).

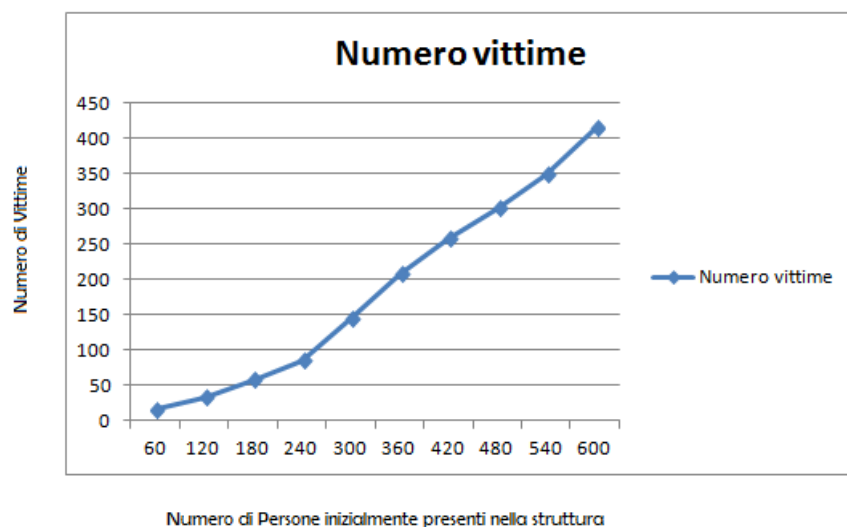


Figura 7. 29 – Numero di Vittime per lo Scenario 2

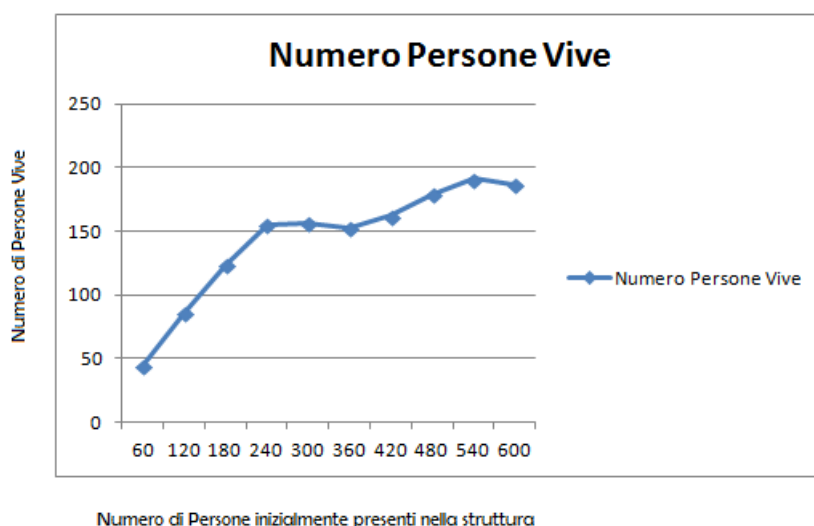


Figura 7. 30 – Numero di Sopravvissuti per lo Scenario 2

I run di simulazione hanno restituito anche in questo caso la presenza di vittime all'interno del sistema, in numero ancora maggiore rispetto al caso precedente (sia analizzando i numeri che le percentuali di vittime e sopravvissuti) a causa delle porte inagibili che hanno causato un aumento dei tempi di fuga.

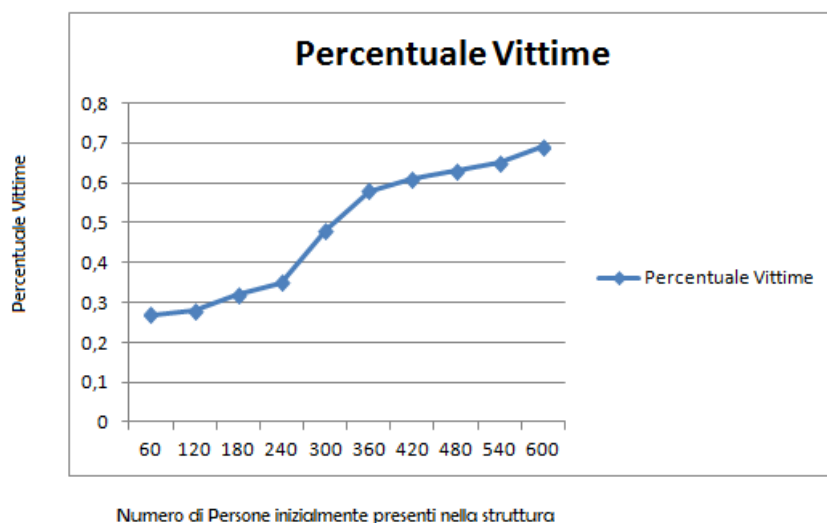


Figura 7. 31 – Percentuale di Vittime per lo Scenario 2

L'andamento della percentuale di vittime risulta sempre crescente all'aumentare del numero di persone a causa degli affollamenti e della saturazione nei pressi di tutte le porte disponibili.

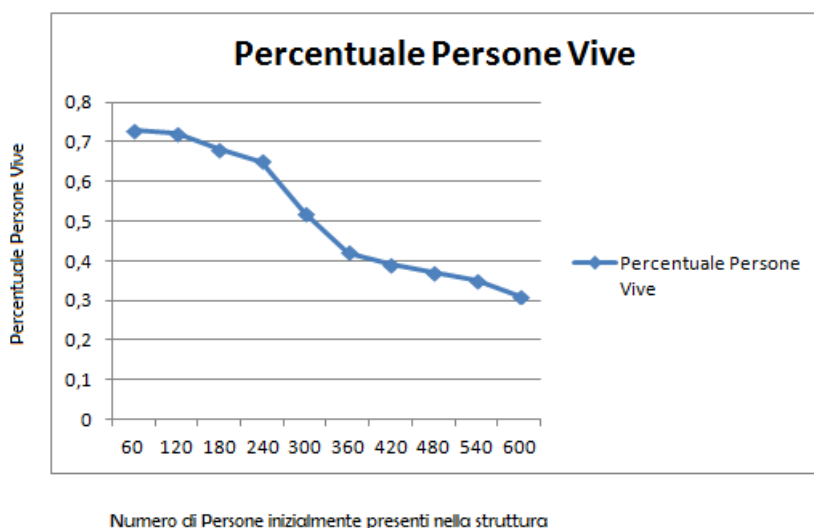


Figura 7. 32 – Percentuale di Sopravvissuti per lo Scenario 2

7.8.3 Scenario 3

Tale scenario considera la seconda configurazione di modello, in cui vi è comunicazione e cooperazione tra gli individui (dopo una fase iniziale di pre-evacuazione che ingloba i fenomeni considerati nella prima configurazione), vi sono segnali luminosi/sonori che indicano eventuali porte inagibili e non ci sono porte e percorsi resi inagibili dall'incendio.

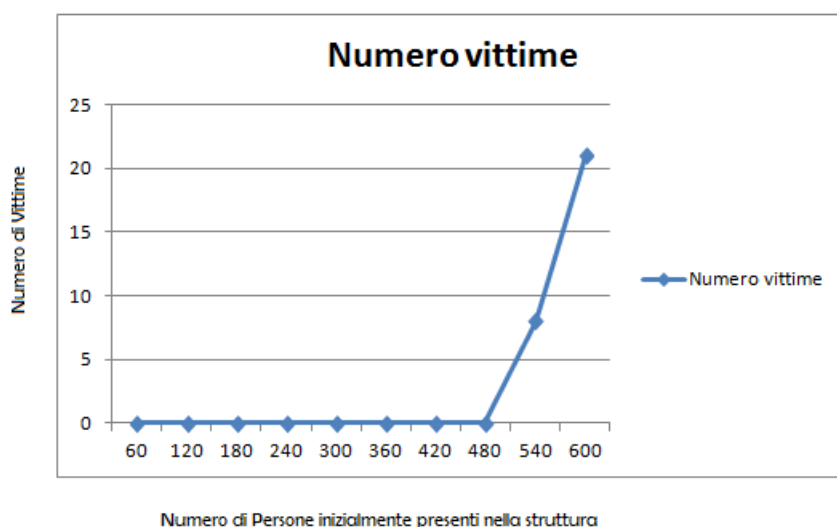


Figura 7. 33 – Numero di Vittime per lo Scenario 3

In questo caso i comportamenti di aggregazione tra gli Occupants, unitamente alla comunicazione con Leaders formati sulle corrette procedure di evacuazione (rappresentati dagli addetti alle emergenze), riducono notevolmente i tempi di fuga, che ritorneranno ad essere quasi sempre inferiori a quelli massimi teorici stimati in precedenza, e non ci saranno vittime se non per gli ultimi due casi, dove ci sarà qualche perdita umana (comunque molto inferiore rispetto agli scenari precedenti) dovuta all'affollamento massimo raggiunto presso le porte.

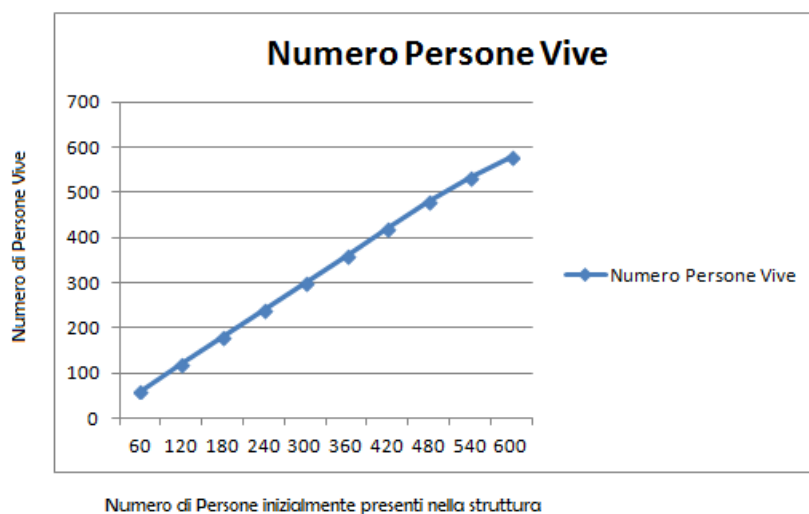


Figura 7. 34 – Numero di Sopravvissuti per lo Scenario 3

Anche per questo scenario, la percentuale di vittime aumenta al crescere del numero di persone nella struttura, mentre quella di sopravvissuti si riduce, a causa della saturazione delle vie di esodo.

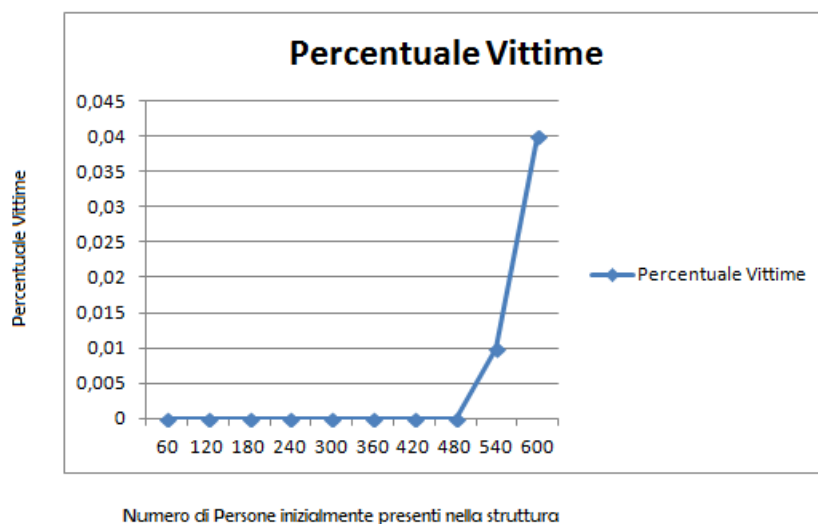


Figura 7. 35 – Percentuale di Vittime per lo Scenario 3



Come si può notare dagli andamenti di Figura 7.35 e 7.36, le percentuali di vittime per questo caso sono molto ridotte, ragion per cui questa configurazione risulta essere quella ottimale.

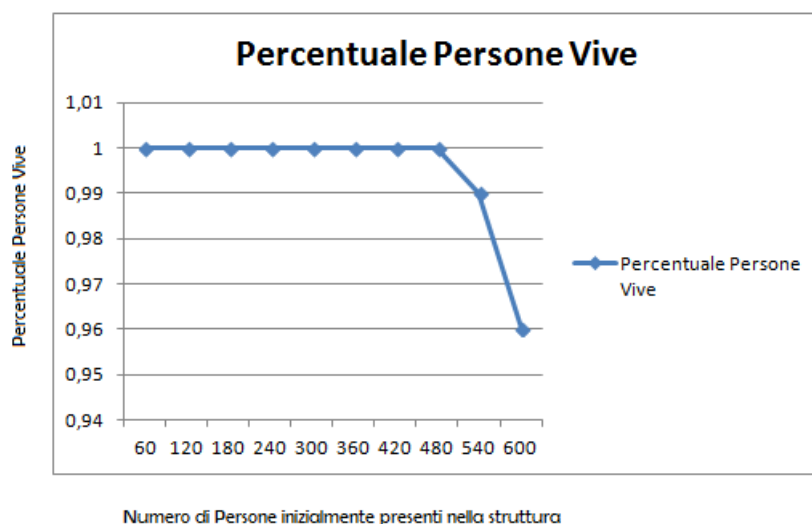


Figura 7. 36 – Percentuale di Sopravvissuti per lo Scenario 3

7.8.4 Scenario 4

Quest'ultimo caso considera ancora la seconda configurazione di modello, in cui vi è comunicazione e cooperazione tra gli individui, vi sono segnali luminosi/sonori che indicano eventuali porte inagibili, ma ora ci sono porte e percorsi resi inagibili dall'incendio (pari quasi al 50% delle porte complessive).

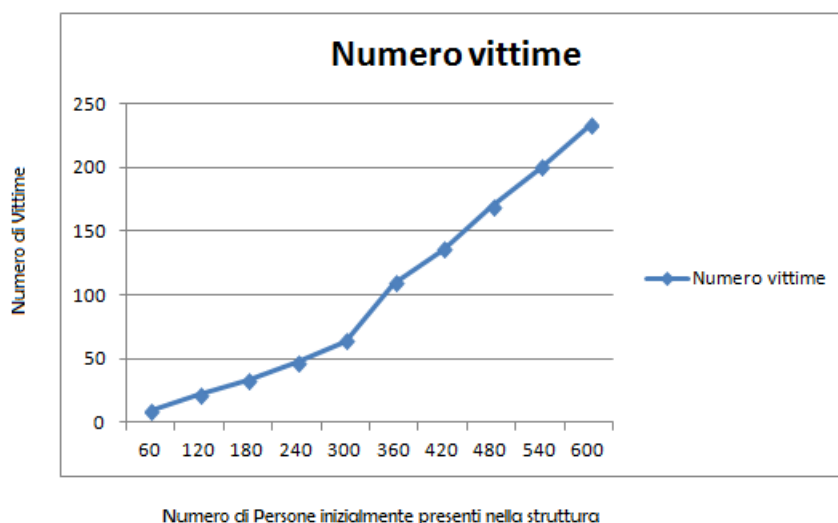


Figura 7. 37 – Numero di Vittime per lo Scenario 4

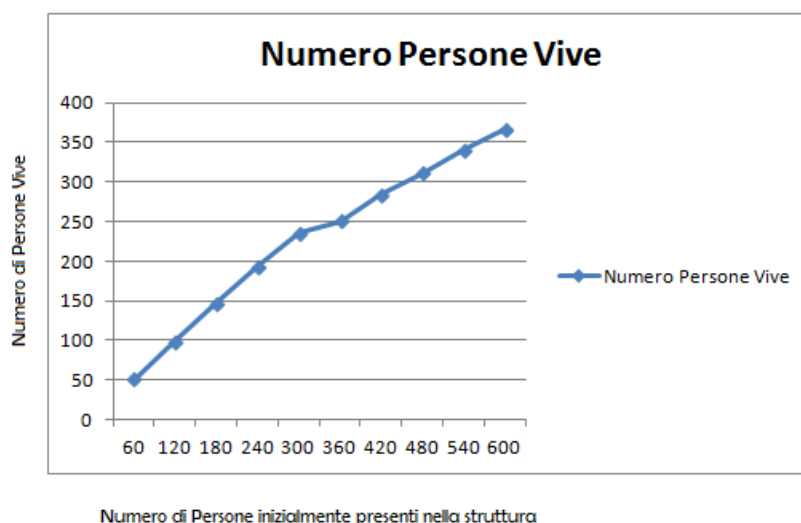


Figura 7. 38 – Numero di Sopravvissuti per lo Scenario 4

Le simulazioni hanno mostrato un numero di vittime sicuramente superiore rispetto al caso precedente, ma contenuto rispetto ai casi iniziali, grazie all'adozione di un sistema luminoso/sonoro che guida le persone verso il percorso di esodo agibile più vicino ed evita che esse vaghino per la struttura prima di trovare un'uscita disponibile.

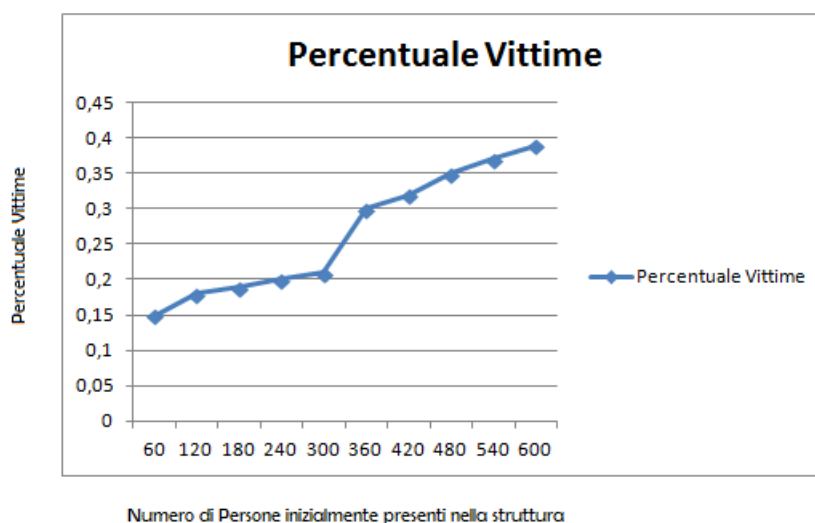


Figura 7. 39 – Percentuale di Vittime per lo Scenario 4

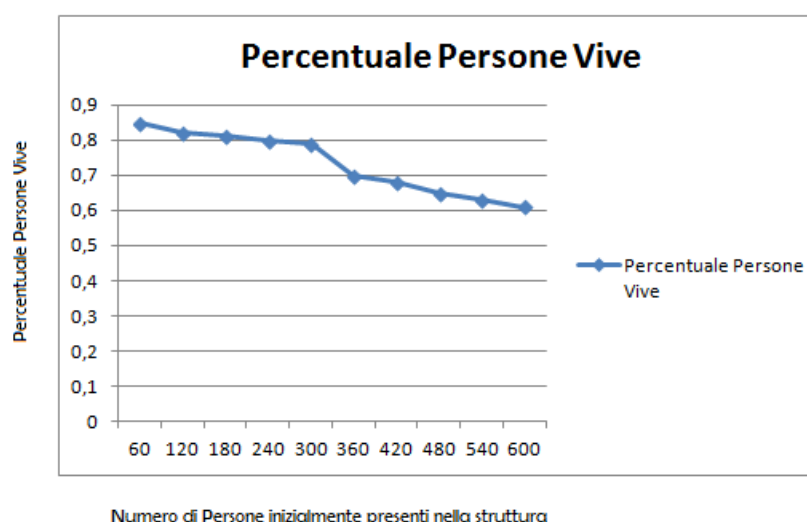


Figura 7. 40 – Percentuale di Sopravvissuti per lo Scenario 4

Nelle Figure 7.41 – 7.80 sono riportati i risultati dei run delle simulazioni per i 4 scenari considerati – indicanti i tempi di attesa, i tempi di trasferimento, totali, di attraversamento e il numero di vittime e sopravvissuti nel sistema – dalla cui analisi sono derivati i ragionamenti e gli andamenti sin qui esposti.



Capitolo VII – Case study: implementazione di un modello simulativo per la determinazione di piani di evacuazione dinamici



Figura 7. 41 – Risultati dei run di simulazione per lo Scenario 1 (I)



Capitolo VII – Case study: implementazione di un modello simulativo per la determinazione di piani di evacuazione dinamici



Figura 7. 42 – Risultati dei run di simulazione per lo Scenario 1 (II)



Capitolo VII – Case study: implementazione di un modello simulativo per la determinazione di piani di evacuazione dinamici



Figura 7. 43 – Risultati dei run di simulazione per lo Scenario 1 (III)



Capitolo VII – Case study: implementazione di un modello simulativo per la determinazione di piani di evacuazione dinamici



Figura 7. 44 – Risultati dei run di simulazione per lo Scenario 1 (IV)



Capitolo VII – Case study: implementazione di un modello simulativo per la determinazione di piani di evacuazione dinamici



Figura 7. 45 – Risultati dei run di simulazione per lo Scenario 1 (V)



Capitolo VII – Case study: implementazione di un modello simulativo per la determinazione di piani di evacuazione dinamici



Figura 7. 46 – Risultati dei run di simulazione per lo Scenario 1 (VI)



Capitolo VII – Case study: implementazione di un modello simulativo per la determinazione di piani di evacuazione dinamici



Figura 7. 47 – Risultati dei run di simulazione per lo Scenario 1 (VII)



Capitolo VII – Case study: implementazione di un modello simulativo per la determinazione di piani di evacuazione dinamici



Figura 7. 48 – Risultati dei run di simulazione per lo Scenario 1 (VIII)



Capitolo VII – Case study: implementazione di un modello simulativo per la determinazione di piani di evacuazione dinamici



Figura 7. 49 – Risultati dei run di simulazione per lo Scenario 1 (IX)



Capitolo VII – Case study: implementazione di un modello simulativo per la determinazione di piani di evacuazione dinamici



Figura 7. 50 – Risultati dei run di simulazione per lo Scenario 1 (X)



Capitolo VII – Case study: implementazione di un modello simulativo per la determinazione di piani di evacuazione dinamici



Figura 7.51 – Risultati dei run di simulazione per lo Scenario 2 (I)



Capitolo VII – Case study: implementazione di un modello simulativo per la determinazione di piani di evacuazione dinamici



Figura 7. 52 – Risultati dei run di simulazione per lo Scenario 2 (II)



Capitolo VII – Case study: implementazione di un modello simulativo per la determinazione di piani di evacuazione dinamici



Figura 7. 53 – Risultati dei run di simulazione per lo Scenario 2 (III)



Capitolo VII – Case study: implementazione di un modello simulativo per la determinazione di piani di evacuazione dinamici



Figura 7. 54 – Risultati dei run di simulazione per lo Scenario 2 (IV)



Capitolo VII – Case study: implementazione di un modello simulativo per la determinazione di piani di evacuazione dinamici



Figura 7. 55 – Risultati dei run di simulazione per lo Scenario 2 (V)



Capitolo VII – Case study: implementazione di un modello simulativo per la determinazione di piani di evacuazione dinamici



Figura 7. 56 – Risultati dei run di simulazione per lo Scenario 2 (VI)



Capitolo VII – Case study: implementazione di un modello simulativo per la determinazione di piani di evacuazione dinamici



Figura 7. 57 – Risultati dei run di simulazione per lo Scenario 2 (VII)



Capitolo VII – Case study: implementazione di un modello simulativo per la determinazione di piani di evacuazione dinamici



Figura 7. 58 – Risultati dei run di simulazione per lo Scenario 2 (VIII)



Capitolo VII – Case study: implementazione di un modello simulativo per la determinazione di piani di evacuazione dinamici



Figura 7. 59 – Risultati dei run di simulazione per lo Scenario 2 (IX)



Capitolo VII – Case study: implementazione di un modello simulativo per la determinazione di piani di evacuazione dinamici



Figura 7. 60 – Risultati dei run di simulazione per lo Scenario 2 (X)



Capitolo VII – Case study: implementazione di un modello simulativo per la determinazione di piani di evacuazione dinamici



Figura 7. 61 – Risultati dei run di simulazione per lo Scenario 3 (I)



Capitolo VII – Case study: implementazione di un modello simulativo per la determinazione di piani di evacuazione dinamici



Figura 7. 62 – Risultati dei run di simulazione per lo Scenario 3 (II)



Capitolo VII – Case study: implementazione di un modello simulativo per la determinazione di piani di evacuazione dinamici

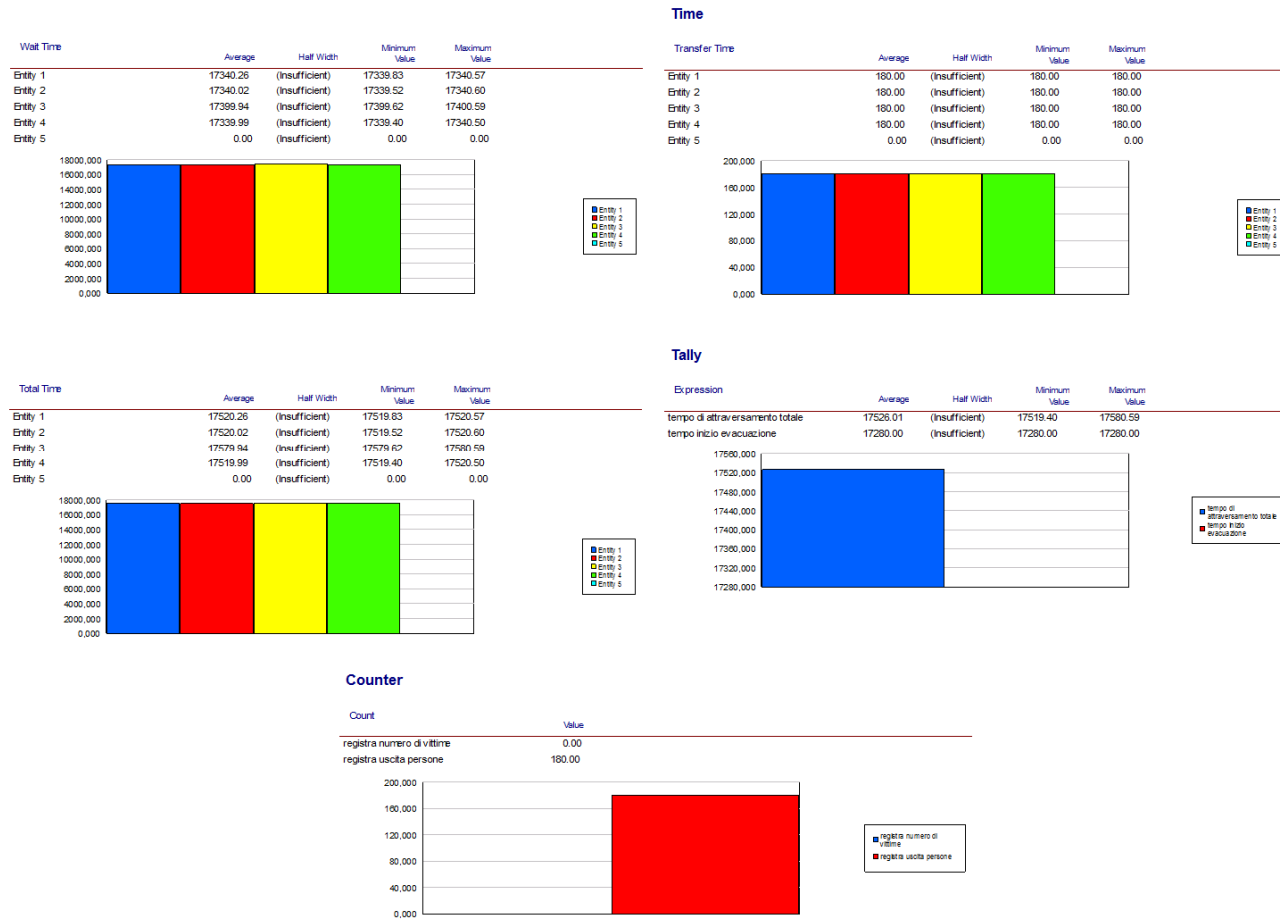


Figura 7. 63 – Risultati dei run di simulazione per lo Scenario 3 (III)



Capitolo VII – Case study: implementazione di un modello simulativo per la determinazione di piani di evacuazione dinamici



Figura 7. 64 – Risultati dei run di simulazione per lo Scenario 3 (IV)



Capitolo VII – Case study: implementazione di un modello simulativo per la determinazione di piani di evacuazione dinamici



Figura 7. 65 – Risultati dei run di simulazione per lo Scenario 3 (V)



Capitolo VII – Case study: implementazione di un modello simulativo per la determinazione di piani di evacuazione dinamici



Figura 7. 66 – Risultati dei run di simulazione per lo Scenario 3 (VI)



Capitolo VII – Case study: implementazione di un modello simulativo per la determinazione di piani di evacuazione dinamici



Figura 7. 67 – Risultati dei run di simulazione per lo Scenario 3 (VII)



Capitolo VII – Case study: implementazione di un modello simulativo per la determinazione di piani di evacuazione dinamici



Figura 7. 68 – Risultati dei run di simulazione per lo Scenario 3 (VIII)



Capitolo VII – Case study: implementazione di un modello simulativo per la determinazione di piani di evacuazione dinamici



Figura 7. 69 – Risultati dei run di simulazione per lo Scenario 3 (IX)



Capitolo VII – Case study: implementazione di un modello simulativo per la determinazione di piani di evacuazione dinamici



Figura 7. 70 – Risultati dei run di simulazione per lo Scenario 3 (X)



Capitolo VII – Case study: implementazione di un modello simulativo per la determinazione di piani di evacuazione dinamici



Figura 7. 71 – Risultati dei run di simulazione per lo Scenario 4 (I)



Capitolo VII – Case study: implementazione di un modello simulativo per la determinazione di piani di evacuazione dinamici



Figura 7. 72 – Risultati dei run di simulazione per lo Scenario 4 (II)



Capitolo VII – Case study: implementazione di un modello simulativo per la determinazione di piani di evacuazione dinamici



Figura 7. 73 – Risultati dei run di simulazione per lo Scenario 4 (III)



Capitolo VII – Case study: implementazione di un modello simulativo per la determinazione di piani di evacuazione dinamici



Figura 7. 74 – Risultati dei run di simulazione per lo Scenario 4 (IV)



Capitolo VII – Case study: implementazione di un modello simulativo per la determinazione di piani di evacuazione dinamici



Figura 7. 75 – Risultati dei run di simulazione per lo Scenario 4 (V)



Capitolo VII – Case study: implementazione di un modello simulativo per la determinazione di piani di evacuazione dinamici



Figura 7. 76 – Risultati dei run di simulazione per lo Scenario 4 (VI)



Capitolo VII – Case study: implementazione di un modello simulativo per la determinazione di piani di evacuazione dinamici



Figura 7. 77 – Risultati dei run di simulazione per lo Scenario 4 (VII)



Capitolo VII – Case study: implementazione di un modello simulativo per la determinazione di piani di evacuazione dinamici



Figura 7. 78 – Risultati dei run di simulazione per lo Scenario 4 (VIII)



Capitolo VII – Case study: implementazione di un modello simulativo per la determinazione di piani di evacuazione dinamici



Figura 7. 79 – Risultati dei run di simulazione per lo Scenario 4 (IX)



Capitolo VII – Case study: implementazione di un modello simulativo per la determinazione di piani di evacuazione dinamici



Figura 7. 80 – Risultati dei run di simulazione per lo Scenario 4 (X)

7.9 Analisi e confronto dei risultati

Come si può notare in maniera ancor più evidente dai grafici di confronto, gli scenari 1 e 2 relativi alla prima configurazione del modello costruito restituiscono un numero significativo di vittime rispetto agli scenari 3 e 4 relativi alla seconda configurazione di modello.

Ciò è dovuto al fatto che nel secondo modello i fattori di aggregazione e cooperazione consentono la riduzione dei tempi “morti” spesi in comportamenti inadatti e attività non produttive per la fuga e consentono ai Leaders (addetti alle emergenze opportunamente istruiti e formati sulla sicurezza antincendio) di guidare le persone verso le vie di fuga più vicine. Inoltre, l’adozione di un sistema sonoro/luminoso (con istruzioni vocali e segnaletica luminosa posta sul soffitto in modo da non essere oscurata dai fumi dell’incendio) consente agli Occupants di non sprecare tempo nella ricerca di un’uscita agibile, ma di impegnare direttamente i percorsi agibili più vicini.

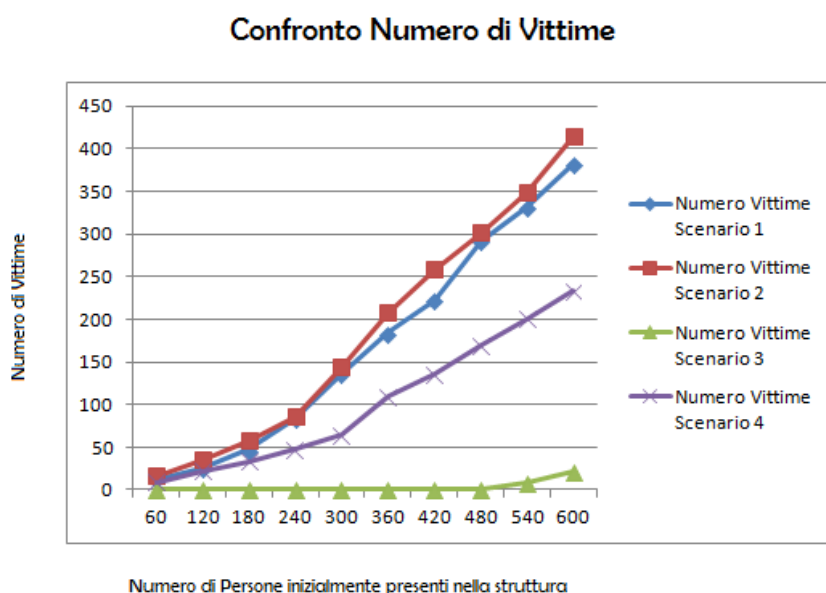


Figura 7. 81 – Confronto Numero di Vittime



Ovviamente, in termini assoluti il numero di sopravvissuti aumenta con l'aumento significativo del numero di persone inizialmente presenti nella struttura (date le cifre elevate), ed in particolare quello del terzo scenario dove, oltre agli accorgimenti appena citati non ci sono porte inagibili.

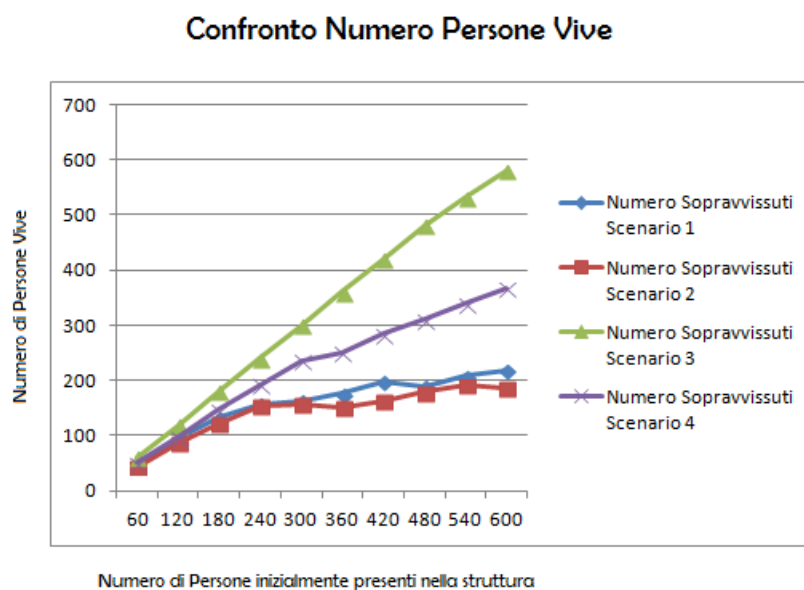


Figura 7. 82 – Confronto numero di Sopravvissuti

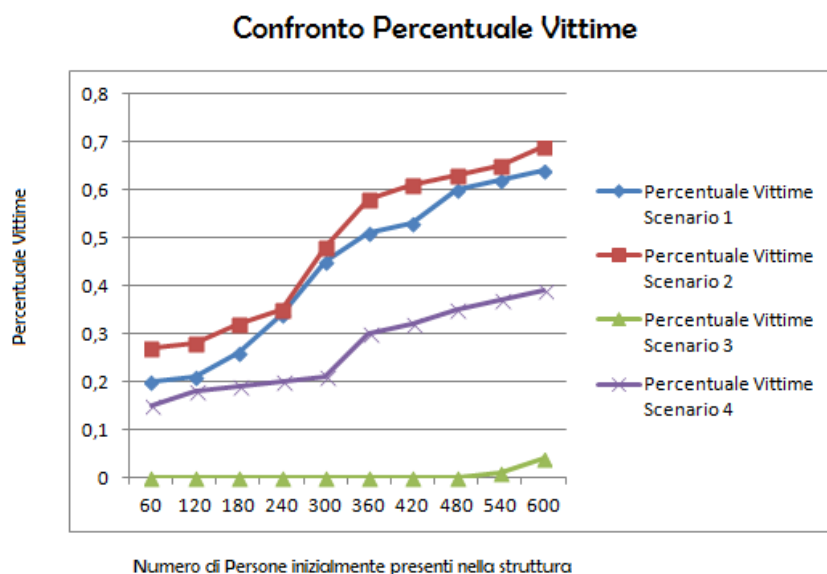


Figura 7. 83 – Confronto Percentuali Vittime

Il confronto è ancor più evidente passando alle percentuali sia di vittime che di sopravvissuti per i quattro scenari simulati, il che fa protendere notevolmente per l'adozione della seconda configurazione di modello (ci saranno sicuramente dei costi maggiori dovuti all'acquisto di un sistema sonoro/luminoso, ma questi saranno compensati dalla notevole riduzione di perdite umane, il cui costo è praticamente non quantificabile).

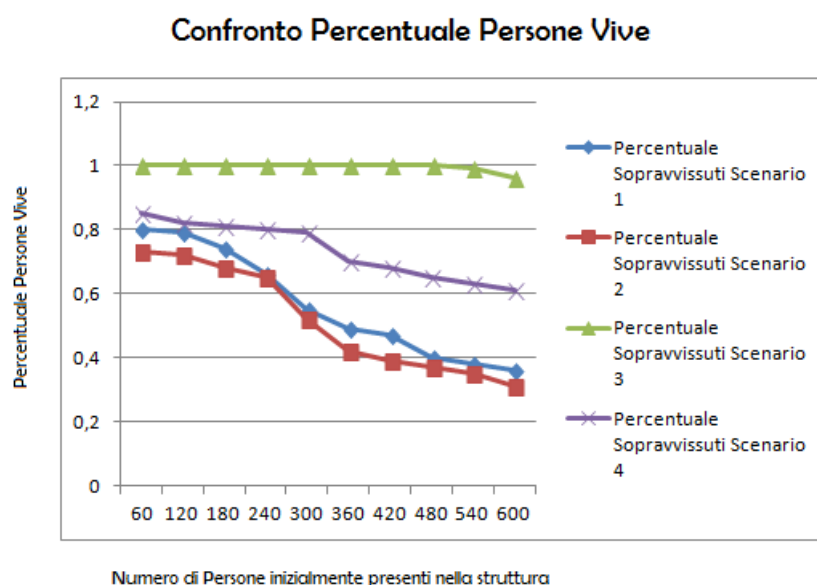


Figura 7. 84 – Confronto percentuali Sopravvissuti

In sintesi, effettuando i run dei due modelli è possibile notare come i dati di output si discostino da quelli presenti nello studio preliminare ottenuti in modo “statico”, ovvero considerando solo la lunghezza dei percorsi di esodo e le velocità di percorrenza. In alcuni casi delle entità sono addirittura state registrate come morte perché non hanno fatto in tempo a scappare in seguito a processi decisionali troppo lunghi.

Rilanciando la simulazione con l'adozione di nuovi parametri nei vari moduli (nella realtà quest'azione è l'equivalente dell'adozione di misure di



prevenzione e protezione) ci si accorge subito di come variano i dati in uscita. È questa la “forza” della simulazione. Infatti, già in fase di progetto, tramite delle semplici modifiche al modello è possibile stimare se sia vantaggioso (perché ovviamente ha dei costi) – per fare un esempio – adottare una segnaletica luminosa e/o sonora all’inizio del percorso di esodo per indicare lo stato “porta agibile/inagibile” permettendo alle entità di dirigersi immediatamente verso quella giusta riducendo così il rischio di eventuali feriti e nei casi peggiori di morti.



BIBLIOGRAFIA CAPITOLO VII

- [1] A. Ferrari, G. Coppola, L. Nigro, *Simulazione di incendio in un reparto di produzione di uno stabilimento industriale mediante modello CDF: FDS2 Applicato allo studio dell'andamento dei fumi.*
- [2] Drysdale D., *An Introduction to Fire Dynamics - Second Edition*, John Wiley & Sons Ltd., Baffins.
- [3] Quintiere J.G., *Principles of Fire Behavior*, Delmar Publishers, Albany, New York, 1998.
- [4] Heskestad G., *Venting Practices*, sec. 6, chap. 10 in *Fire Protection Handbook*, 17th ed., edited by A.E. Cote and J.L. Linville, Quincy, MA: National Fire Protection Association, 1991, 6.104-6.116.
- [5] Lane, Chichester, West Sussex PO19 1UD, England, 1998.
- [6] “Attività Formativa Antincendio” – Giuliano Kraft.
- [7] Andrew Furness, Martin Muckett, *Introduction to Fire Safety Management*, 2007
- [8] Daniel Della Giustina, *The Fire Safety Management Handbook*, 1999
- [9] Richard Carvel, Alan N. Beard, *The Handbook Of Tunnel Fire Safety*, 2005
- [10] Lon H. Ferguson, Dr. Christopher A. Janicak, *Fundamentals of Fire Protection for the Safety Professional*, 2005
- [11] William Dailey, *A guide to fire safety management*, 2000
- [12] Pat Perry, *Fire Safety: A Practical Approach*, 2003.



SITOGRAFIA CAPITOLO VII

- {1} “Arena User’s Guide” – Allen-Bradley – Rockwell Software
- {2} “Profili di Rischio / Dolciaria” www.inail.it
- {3} www.antincendioesicurezza.it
- {4} www.cma-sistemiantincendio.it
- {5} www.antincendio.it
- {6} www.ania.it
- {7} www.sciencedirect.com
- {8} www.scholar.google.it
- {9} www.biblio.unina.it
- {10} www.springerlink.com
- {11} www.sirelib.unina.it
- {12} www.ieee.org
- {13} www.elsevier.com
- {14} www.jstor.org

CONCLUSIONI

Lo studio condotto nel presente lavoro di tesi è nato dalla convinzione che il tema della Sicurezza sul Lavoro è ormai sempre più vissuto dalle realtà aziendali come una vera e propria filosofia che vede il suo fulcro nell'idea di una "Cultura della Sicurezza" radicata nei modi di agire di tutti i lavoratori, dal datore di lavoro fino ai dipendenti. Non dovendosi esplicitare soltanto in una mera attuazione di norme e divieti, la pratica della Sicurezza pone particolare attenzione alla formazione ed al coinvolgimento dei lavoratori. Essi sono infatti i soggetti più indicati per l'individuazione dei possibili rischi che una determinata attività può comportare (dovendola svolgere quotidianamente) e quindi è assolutamente necessario che siano parte attiva nelle attività di "messa in sicurezza" dell'ambiente lavorativo proponendo possibili soluzioni.

Andando più nello specifico, il focus dell'analisi è stato il rischio incendio, presente in ogni realtà sia pubblica che privata, ed in particolare la procedura da attuare per consentire a tutti gli individui presenti in una struttura al momento dello scoppio di un incendio di mettersi in salvo.

Lo studio della letteratura scientifica ha consentito di evidenziare i parametri chiave da considerare per la determinazione di un piano di emergenza che risulti "dinamico", ossia nel quale non vi siano soltanto elementi architettonici, normativi e fisici, ma anche e soprattutto comportamentali. Solo la totalità di tali parametri consentirà infatti di far capire la differenza tra una planimetria di esodo affissa alle pareti ed i reali percorsi intrapresi dagli individui durante la fuga.

Per ottenere gli scopi prefissati, è stata utilizzata la simulazione come strumento di ausilio alle tecniche tradizionali per la rappresentazione dei fattori comportamentali che si instaurano durante una situazione di emergenza.

Utilizzando il software di simulazione Arena della Rockwell, è stato simulato il comportamento umano durante un incendio scoppiato in uno stabilimento produttivo, considerando dapprima il caso di comportamenti individualistici e assenza di segnali luminosi/sonori che indichino la presenza di vie di esodo non agibili, e successivamente il caso di comportamenti di affiliazione e comunicazione, con la presenza in sede di un sistema di instradamento vocale/luminoso verso i percorsi agibili più vicini.

Le simulazioni e le successive analisi di scenario hanno mostrato come sia importante conoscere i meccanismi che si instaurano tra gli Occupants di una struttura e come un investimento in sistemi di prevenzione/protezione possa salvare molte vite umane, i cui vantaggi economici e sociali non sono quantificabili.

Per tali motivi, l'utilizzo della simulazione nell'ambito della Sicurezza Antincendio, e dunque il modello costruito, risulta essere un valido strumento di supporto:

- Alle decisioni strategiche dei vertici aziendali in materia di sicurezza;
- Alla formazione e al coinvolgimento dei lavoratori.

Per quanto riguarda il primo punto, la simulazione risulta essere un potente driver di progettazione, in quanto tramite essa è possibile valutare già in fase di progettazione quanto sia vantaggioso adottare specifiche misure di prevenzione/protezione e tra queste quali adottare per la specifica configurazione di sistema. Basterà andare a modificare i parametri inseriti all'interno del modello per vedere immediatamente i risultati che si ottengono. In questo modo si individua la migliore soluzione da attuare già in

fase di progetto senza quindi dover intervenire successivamente con ulteriori esborsi economici e minimizzando il numero di vittime potenziali in caso di pericolo. Inoltre, è possibile individuare il percorso critico caratterizzato da maggior affollamento e quindi predisporre delle vie di esodo più vicine, più numerose o con moduli delle porte più ampi; il tutto senza aver ancora investito denaro e quindi senza ulteriori spese per fare delle modifiche strutturali.

Con riferimento al secondo punto, si ha che la simulazione può essere usata come supporto alla formazione: i lavoratori, infatti, potranno sentirsi maggiormente coinvolti nel percorso di formazione perché riusciranno a “vedere” - tramite la simulazione - come l’adozione di un comportamento errato può portare all’insorgere di pericoli e ciò è sicuramente più accattivante della semplice lettura di una planimetria con i vari percorsi di esodo.

Tali osservazioni spingono a proseguire tale progetto di ricerca con l’obiettivo futuro di riuscire a creare un vero e proprio “game” virtuale, in cui vi siano delle aree nelle quali immergere gli individui, così da farli partecipare in prima persona ad esercitazioni virtuali grazie alle quali essi possano rapidamente acquisire familiarità con i luoghi, i pericoli e i vari scenari comportamentali che potrebbero presentarsi in una situazione di emergenza, e da istruirli sulle corrette procedure da adottare in caso di necessità. Un ambiente virtuale nel quale testare e formare gli individui a costi praticamente nulli risulta più rapido da somministrare e lascia sicuramente un segno più profondo rispetto ad un semplice corso di formazione con concetti teorici, muovendosi nella direzione dell’acquisizione di una comune cultura della sicurezza tanto auspicata dal testo unico.